

УДК 519.86:347.463

КОНОВАЛЕНКО Юрій, аспірант кафедри міжнародної економіки КНТЕУ

**МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКІВ
ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ
НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ**

Представлено теоретико-методологічний аналіз основних підходів до оцінки та моделювання транспортних ризиків при перевезенні небезпечних вантажів, на основі якого запропоновано конструктивні модифікації до існуючих підходів із метою підвищення їх практичної цінності. Обґрунтовано доцільність внесення запропонованих змін та зазначено переваги практичного застосування кожної моделі.

Ключові слова: транспортні ризики, страхування вантажів, небезпечні вантажі, перевезення небезпечних вантажів, моделювання транспортних ризиків.

У системі управління транспортними ризиками перевезення небезпечних вантажів (ПНВ) завжди привертало увагу як теоретиків, так і практиків, зокрема через більший масштаб можливих наслідків у результаті настання небажаної події (НП) при транспортуванні. Хоча у світовій практиці для більшості небезпечних вантажів (НВ) ймовірність настання аварії під час їх перевезення становить лише 10^{-6} на мілью, наслідки інциденту, порівняно з транспортуванням іншого комерційного вантажу, більш масштабні.

Лише у США збитки від аварій при ПНВ у 2009 р. становили 69117.345 тис. доларів США, що на 30 % більше ніж у 2008 р. Понад 73 % аварій припадає на автомобільні перевезення [1, с. 27–28, 36]. Відповідно до Українського класифікатора товарів зовнішньоекономічної діяльності, НВ належать до V та VI груп товарів (мінеральні продукти та продукція хімічної та пов'язаних з нею галузей промисловості), обсяги експорту за якими у 2009 р. стягнули 6415243 тис. доларів США, що становить 52.65 % обсягів попереднього року, а імпорту – 21014355 тис. доларів США (69.05 % значення 2008 р.) [2].

Крім значних масштабів наслідків, ПНВ відрізняє те, що при плануванні та виборі маршруту перевезення (МП) мінімізація витрат

не визначається пріоритетною: перевізники та державні установи, уповноважені здійснювати видачу дозволів на ПНВ, здебільшого керуються міркуваннями мінімальної чисельності населення та/або мінімальної вірогідності настання небажаної події.

Своєрідність ПНВ зумовила підходи до моделювання ризиків, де особлива увага приділяється таким факторам моделі, як ймовірність, або ж виокремлюється тільки можливий масштаб наслідків НП, поза увагою залишається ймовірнісний бік настання аварії та опускається значення можливої тяжкості наслідку. Все це, а також необхідність забезпечення ПНВ вимагають переосмислення відповідності кожного з підходів вимогам практики та розробки всеохоплюючої моделі з метою забезпечення точнішої репрезентації рівня безпеки перевезення за вибраним маршрутом. Метою статті є побудова моделі оцінки ризику, що відповідає практичним потребам ПНВ, визначення міри завданих збитків усім сторонам у результаті настання НП при ПНВ із урахуванням фактору часу, а також розробка методичного підходу до усунення незіставності отриманих результатів оцінювання ризику при ПНВ.

Значний внесок у дослідження ризиків при ПНВ зробили такі зарубіжні науковці, як Е. Альп, Е. Еркут, В. Вертер, А. Інголфссон, К. Ревелль, С. Чіу, Р. Батта, Ф. Саккамано, А. Чан, М. Абковіц та Р. Сівакумар [3–10] та ін. Серед вітчизняних дослідників слід відзначити С. Петрова, Н. Слюсар, К. Пуліковського [11–13] та ін.

Необхідність розробки спеціальних підходів до регулювання ПНВ знайшла відображення в нормативно-правових документах. У різних країнах до перевізників висуваються дещо відмінні вимоги, однак переважна більшість їх базується на рекомендаціях Комітету експертів ООН з ПНВ. В Україні ПНВ регулюється Законом України "Про перевезення небезпечних вантажів" від 6 квітня 2000 р. № 1644-III, Постановами Кабінету Міністрів України "Про затвердження Порядку і правил проведення обов'язкового страхування відповідальності суб'єктів перевезення небезпечних вантажів на випадок настання негативних наслідків під час перевезення небезпечних вантажів" від 1 червня 2002 р. № 733, "Про проїзд великогабаритних та великовагових транспортних засобів автомобільними дорогами, вулицями та залізничними переїздами" від 18 січня 2001 р. № 30, Наказом Міністерства Внутрішніх справ України "Про забезпечення перевезення небезпечних вантажів автомобільним транспортом" від 21 березня 2008 р. №130, Правилами дорожнього перевезення небезпечних вантажів. Зокрема у п. 1 Постанови Кабінету Міністрів України № 733 зазначається, що обов'язкове страхування відповідальності суб'єктів ПНВ на випадок настання негативних наслідків під час ПНВ проводиться з метою забезпечення відшкодування шкоди, заподіяної життю і здоров'ю фізичних осіб, навколишньому природному середовищу, майну фізичних та юридичних осіб під час ПНВ [14].

Зважаючи на актуальність досліджуваної теми, доцільно розглянути основні моделі управління ризиком при ПНВ. Слід зазначити, що кожна із розроблених моделей для оцінювання ризику при ПНВ вирізняється складом і специфікою елементів, визначальних при калькулюванні міри ризикованості та загальних наслідків НП. Для глибшого розуміння сутності кожної з моделей оцінювання ризику доцільно детальніше розглянути їх для формулювання відповідних моментів побудови власної моделі.

Особливістю моделювання ризику настання НП при вантажних перевезеннях та ПНВ зокрема є поділ МП на певну кількість проміжків маршруту (ПМ), що застосовується вже тривалий час як теоретиками, так і практиками галузі. При виборі альтернативних маршрутів ПНВ ймовірність настання НП на кожному з них не буде однаковою та не зводиться лише до усередненого показника аварійності при ПНВ¹ на всьому маршруті. Деякі ПМ можуть характеризуватися більшою частотою настання аварійних ситуацій порівняно з іншими. Склад і специфіка мобільності населення також може значно відрізнятися вздовж МП².

Припустивши, що весь обраний МП складається з n ПМ, формула традиційного оцінювання ризику при ПНВ за Е. Альпом, Е. Еркутом та В. Вертером зводиться до такого вигляду:

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

де p_i – ймовірність настання НП на i -му ПМ;

C_i – кількість людей, що проживає на враженій НВ території на i -му ПМ.

Необхідність модифікації моделі традиційного оцінювання ризику при ПНВ із використанням інструментів теорії ймовірностей знайшла своє відображення у спільній роботі Е. Еркута та В. Вертера [4], а пізніше – А. Інголфссона та Е. Еркута [5]. Робилося припущення, що на першому ПМ ймовірність настання небажаної події становить p_1 , якщо аварія не мала місце на першому ПМ, то ймовірність настання небажаної події на другому ПМ становитиме $p_2(1 - p_1)$. Якщо ж інциденту не сталося і на другому ПМ, то ймовірність настання аварії на третьому ПМ буде $p_3(1 - p_2)(1 - p_1)$ і т.д. (рис. 1).

¹ Для більшості НВ ймовірність НП при перевезенні знаходиться в інтервалі між 0.1 та 0.8 на мільйон миль; це означає, що приблизно на 35 тис. транспортних аварій, серед учасників яких не було перевізника НВ, припадає 10 аварій, де хоча б однією зі сторін виявився перевізник НВ.

² Наприклад, якщо НП сталася в районі, де проживає переважна більшість населення, що працює в іншому місці, і якщо НП сталася протягом робочого дня, то наслідки значно відрізнятимуться від менш "мобільних" місцевостей.

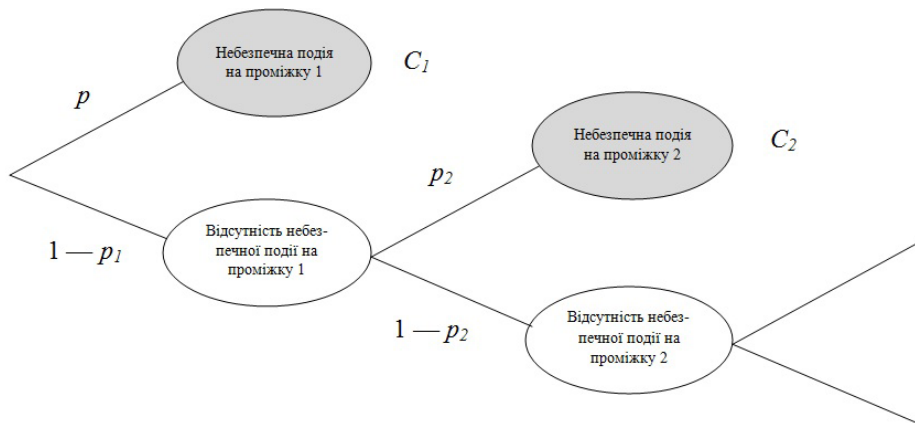


Рис. 1. Додаткові умови Е. Еркута та В. Вертера для модифікації моделі традиційного оцінювання ризику при ПНВ [4, с. 628]

Таким чином, у випадку поділу МП на n ПМ оцінювання ризику ПНВ на всьому маршруті здійснюватиметься за такою формулою ³:

$$TR = \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^{i-1} (1 - p_j) p_i C_i. \quad (2)$$

Потрібно зауважити, що за такого підходу до транспортування НВ має місце певна дискретизація (див. рис. 1), перевезення розглядається як ймовірнісне випробування, на всіх етапах якого є два можливих результати. Ймовірності присвоєні кожному з ПМ, а випробування повторюється стільки разів, скільки є проміжків на маршруті. Однак ПНВ – процес неперервний, тому для зменшення впливу дискретності, представленого в моделі, доцільно поділити маршрут на більшу кількість відносно невеликих за довжиною ПМ. Крім того, оскільки для НВ ймовірність настання НП $p \rightarrow 0$, то вплив дискретності процесу ПНВ на точність розрахунків впливатиме незначною мірою.

Дещо інший підхід до визначення ризику при ПНВ наведено у моделі нараження населення на ризик при ПНВ, запропонованій Р. Батта та С. Чіу [7], модифікованій К. Ревеллем [6]. Модель ставить у центр кількість населення, що проживає на певній відстані від лінії всього МП з n ПМ, та має вигляд:

$$PE = \sum_{i=1}^n C_i. \quad (3)$$

³ У даному випадку опускається припущення, що транспортний засіб прослідує по всій лінії маршруту, однак зберігається припущення, що коли транспортний засіб перетнув межу i -го ПМ, то він має проїхати його до кінця. Щоб опустити друге припущення (НП може мати місце в будь-якій точці i -го ПМ) доцільно використати пуассонівський процес із частотою настання аварійних подій λ_i , тоді ймовірність розраховуватиметься таким чином: $p_i = \lambda_i l_i$, де l_i – довжина i -го ПМ.

Однак при побудові моделі оцінювання ризику при ПНВ має бути врахована ціла низка інших додаткових умов. Відсутність ймовірнісної складової свідчить про зосередження на підрахунках наслідків при найгіршому сценарії розвитку подій.

Модель оцінювання ризику при ПНВ, що бере до уваги лише ймовірність настання інциденту, запропонована Ф. Саккоманно та А. Чаном [8] і розвинена М. Абковіцем [9], виглядає так:

$$IP = \sum_{i=1}^n p_i \quad (4)$$

Деякі науковці [4; 5] при модифікації традиційної моделі оцінювання ризику вдалися до введення додаткових умов до процесу транспортування і тим самим внесли зміни до формули розрахунку ймовірності настання інциденту на МП, зокрема виключивши C_i з (1).

Обмеженість сфери застосування (4) визначається її виключною орієнтованістю на ймовірнісний бік НП. Як і у випадку з (3), можна вважати, що напрацювання деяких авторів [8; 9] не повною мірою відповідають вимогам до моделі оцінювання ризику при ПНВ через обмеженість сфери застосування та відсутню простоту.

Хоча модель (4) й може бути використана для вибору МП із загальною мінімальною ймовірністю настання аварії, однак за її допомогою складно оцінити ризик при ПНВ на нових МП, для яких відсутні статистичні дані щодо аварійності. Отже, доцільно застосовувати (4) як доповнюючу до решти моделей оцінювання ризику при ПНВ або для ненових альтернативних МП. Із метою зменшення кількості громіздких розрахунків для довгих МП з досить неоднорідним значенням C_i та за умови динамічної можливості моніторингу змін значень C_i ця модель може виявитися корисною.

Нового значення набуває показник чисельності населення на i -му ПМ (C_i) у моделі міри сприйняття ризику населенням при ПНВ, запропонованій М. Абковіцем [9]. Він увів до моделі традиційного оцінювання ризику нову змінну (q), що визначає розмір наслідків настання НП та, як результат, загальний ризик:

$$PR = \sum_{i=1}^n p_i (C_i)^q, \quad (5)$$

де q – параметр, що характеризує міру сприйняття ризику населенням при ПНВ (об'єктивну, занижену чи підвищену).

Введення додаткової змінної для відображення впливу сприйняття ризику створює додаткові труднощі при коректному визначенні складових моделі. Тоді як значення ймовірності для кожного з ПМ p_i у цій моделі є об'єктивним відображенням реальних процесів

(у міру надійності статистичної реєстрації результатів практики перевезень), розрахунок значень C_i та q може виявитися проблематичним.

Кардинально інший підхід запропоновано Р. Сівакумаром [10] у моделі оцінювання умовного⁴ ризику при ПНВ, ідентичній формулі середньої арифметичної зваженої:

$$CR = \frac{\sum_{i=1}^n p_i C_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (6)$$

Формула моделі використовується для розрахунку очікуваного наслідку настання НП, що досягається шляхом осереднення значень чисельності населення на n ПМ. Цінність (6) є беззаперечною у випадку відносно рівномірного заселення території вздовж лінії МП та необхідності отримання орієнтовного значення ризику при ПНВ, до якого слід бути готовим внаслідок настання НП. Однак у випадку застосування моделі до довгого МП, на якому зустрічаються проміжки як із заселеними, так і з незаселеними територіями, отримане значення може не відповідати потребам перевізника при оцінюванні можливого ризику при ПНВ. Наприклад, у випадку НП страховик із певних обґрунтованих причин може відмовитися відшкодувати суму збитків страхувальнику (перевізннику). Якщо ж перевізнник додатково вдається до самострахування ризику настання аварії при ПНВ, то орієнтовні суми відрахування до фонду самострахування, визначені відповідно до моделі умовного ризику при ПНВ для МП із різними значеннями C_i , можуть не відповідати реальним потребам перевізника при необхідності фінансування відшкодувань із власних ресурсів. Саме тому використання (6) є актуальним при незначній дисперсії значень C_i вздовж МП з метою уникнення непередбачуваних витрат перевізнником при відмові страховика від відшкодування завданих збитків внаслідок інциденту.

Необхідність убезпечення ПНВ і зосередження розглянутих моделей лише на певних факторах ризику на МП актуалізує розробку всеохоплюючої моделі оцінки ризику при ПНВ, яка враховуватиме негативний вплив НВ на різні групи населення та юридичні особи, а також елімінує слабкі сторони розглянутих моделей; усуне незіставність результатів оцінювання ризику за різними моделями; дозволить оцінити матеріальні збитки внаслідок настання НП при ПНВ із урахуванням фактору часу для всіх сторін.

Сукупний ризик при ПНВ можна поділити на три великі групи (це імпліцитно визначається у пункті 1 Постанови Кабінету Міністрів

⁴ Модель розрахунку значення ризику при ПНВ отримала таку назву через необхідність імпліцитного припущення про наближені одне до одного значень C_i на всіх ПМ.

України № 733): на ризики для фізичних осіб (завдання шкоди фізичному та психічному здоров'ю) із вартісним вираженням C_i ; ризики, пов'язані з втратою майна (наприклад, щодо фізичних осіб – порушення певних майнових інтересів – у випадку необхідності зміни місця проживання на тимчасовій чи постійній основі, втрати частини чи всіх матеріальних цінностей тощо, щодо юридичних осіб – альтернативні втрати внаслідок неможливості здійснення господарської діяльності, часткова чи повна втрата майна тощо) – із вартісним вираженням C_i' ; ризики, пов'язані із завданням шкоди навколишньому середовищу (руйнація флори та фауни, контамінація вод і ґрунтів, що унеможливить використання цих природних ресурсів на інші цілі або призведе до необхідності відновлення враженої території) – з вартісним вираженням C_i'' , при цьому i так само вказуватиме на i -ий ПМ.

Цілком логічно припустити, що весь маршрут складатиметься з таких ПМ, для яких будуть характерні різні значення C_i , C_i' та C_i'' , причому певні i -ті ПМ передбачатимуть відсутність населених пунктів або суб'єктів господарювання. Тому з метою забезпечення більш диференційованого підходу до моделювання ризиків при ПНВ та точнішого відображення їх значущості слід ввести до моделі додаткові параметри: x_i , x_i' та x_i'' (мають значення 0 або 1), що враховуватимуть щойно визначену умову при оцінюванні ризику на кожному ПМ та всьому МП. Модифікована модель оцінювання ризику при ПНВ матиме такий вигляд:

$$\begin{cases} TR = \sum_{i=1}^n p_i (C_i x_i + C_i' x_i' + C_i'' x_i'') \\ x_i, x_i', x_i'' = \overline{0, 1} \\ x_i + x_i' + x_i'' = \overline{1, 3} \end{cases}, \quad (7)$$

- де C_i – втрати коштів, пов'язані із завданням шкоди фізичним особам;
 C_i' – втрати коштів, пов'язані з втратою та/або пошкодженням майна;
 C_i'' – втрати, пов'язані з завданням шкоди навколишньому середовищу;
 x_i – параметр, що вказує на можливість (має значення 1) або відсутність можливості (0) понесення втрат коштів на i -му ПМ, що включені до C_i ;
 x_i' – параметр, що вказує на можливість (має значення 1) або відсутність можливості (0) понесення втрат коштів на i -му ПМ, що включені до C_i' ;
 x_i'' – параметр, що вказує на можливість (1) або відсутність можливості (0) понесення втрат коштів на i -му ПМ, що включені до C_i'' .

При значенні введених параметрів "1" передбачатиметься нараженість на ризик за трьома групами (C_i, C_i', C_i''), при значенні того чи іншого параметра "0" – нараженість за відповідною групою ризиків буде відсутньою. Такий поділ є виправданим, оскільки при, наприклад, нульовому значенні C_i по території ПМ може протікати річка чи розташовуватися приповерхневі підземні води, що є ідеальними переносниками контамінації. Якщо напрямок таких вод тяжіє до міст та місць формування водних резервів систем водопостачання, то наслідки можуть виявитися колосальними, що вимагає при плануванні маршруту та оцінці ризику особливої уваги. Потрібно зауважити, що значення x_i, x_i' та x_i'' визначаються ще до здійснення ПНВ за маршрутом, однак можуть корегуватися з плином часу.

Крім запропонованої вище диференціації значень C , важливим є поділ населення на групи, які по-різному наражені на ризик при настанні НП та з різною мірою мобільності відреагують на тривалу дію НВ на ПМ. Оскільки деякі території характеризуються мобільним населенням, що в робочий час перебуває на достатній відстані від своїх домівок, або навпаки, вночі чи в деяких часових інтервалах протягом року знаходяться у своїх помешканнях, необхідно враховувати цей фактор при оцінюванні ризику. Крім того, для мінімізації можливого ризику має прийматися рішення про здійснення рейсу в проміжок часу, що характеризується меншим значенням C .

У зв'язку з доцільністю здійснення зазначеної диференціації значень C , необхідно виділяти в C_i три групи населення залежно від міри їх мобільності та вікових особливостей таким чином:

$$C_i = C_i^1 + C_i^2 + C_i^3, \quad (8)$$

де C_i^1 – частина найбільш мобільного населення, зазвичай працюючі обох статей, що мають робочі місця поза межами МП, перебувають у своїх помешканнях у неробочий час та переважну більшість часу на вихідних; залежно від часу доби та днів тижня має значення $0, \max\{C_i^1\}$; припускаючи, що НП має місце в певний проміжок часу t_0 , при цьому загальна міра нараження населення буде C_{i,t_0}^1 , то в періоді t_1 , залежно від міри наслідків НП $C_{i,t_1}^1 \rightarrow 0$ або $C_{i,t_0}^1 \gg C_{i,t_1}^1$;

C_i^2 – група відносно мобільного населення, зокрема діти, підлітки, що відвідують дитячий садок, школу, інші заклади, матері, що перебувають у відпустці по догляду за дітиною, та ін. Залежно від рівня розвитку інфраструктури на i -му ПМ (наявність відповідних закладів і сполучень) ця група населення характеризується можливими значеннями $0, \max\{C_i^2\}$; аналогічно як і для C_i^1 , у періоді t_1 група C_i^2 матиме такі характеристики: $C_{i,t_1}^2 \rightarrow 0$ або $C_{i,t_0}^2 \gg C_{i,t_1}^2$;

C_i^3 – група найменш мобільного населення, що складається з людей похилого віку, для яких психологічні зв'язки з місцевістю занадто сильні, щоб у разі настання НП внаслідок ПНВ вони мали достатню мотивацію змінити місце проживання (наприклад, представники старшого покоління, що не залишили свої домівки після аварії на Чорнобильській АЕС); ця група населення зазвичай характеризується наближенням до $\max\{C_i^3\}$; а у періоді t_1 група C_i^3 , на відміну від C_i^1 та C_i^2 , матиме значення: $C_{it_0}^3 \approx C_{it_1}^3$ або $C_{it_0}^3 \geq C_{it_1}^3$.

Таке розгрупування C_i доречне за умови відносної значущості нараження населення на ризик (коли МП проходить поблизу населених пунктів) та прогнозування значення C_i у періоді t_1 після настання НП.

До моделі оцінювання ризику при ПНВ потрібно включити розгруповані значення C з урахуванням недоліків розглянутих моделей. Наприклад, при побудові моделі оцінювання ризику при ПНВ припускатимемо альтернативне її використання без ймовірнісного фактору, це практично для моделювання ризику при ПНВ, який матиме рівномірний негативний вплив вздовж усього маршруту перевезення. Також ігноруватиметься модифікація Е. Еркута та В. Вертера у (2) з метою зменшення впливу дискретизації процесу ПНВ на кінцеве оцінювання ризику, а також ідеї М. Абковіца у (5) через високу вартість визначення параметра q та його сумнівну цінність.

Для варіанта моделі оцінювання ризику при ПНВ без включення ймовірнісної складової припустимо, що здійснюється ПНВ, шкідлива дія якого має прояв вздовж усього МП, а вплив на населення, що проживає поблизу МП є рівномірним (наприклад, перевезення радіоактивних відходів), тоді:

- нехай C_i – значення густоти населення⁵ в межах периметру враження i -го ПМ у формі квадрату зі стороною w_i . При цьому довжина МП з n ПМ матиме значення $\sum_{i=1}^n w_i$. Припущення про рівність протяжності ПМ означатиме, що довжина всього МП становить nw , а його площа – nw^2 ;

- припускаючи однакову інтенсивність поширення дії НВ по обидва боки лінії МП з поступовим її зниженням у міру віддалення від транспортного засобу, площею змінного поширення дії шкідливого вантажу на i -му ПМ буде прямокутник із площею $w^2/2$;

- нехай m – кількість рівнів різної інтенсивності впливу НВ на прямокутнику з площею $w^2/2$. Тобто m визначатиме територію у

⁵ Включення інших підгруп C та доданих умов здійснимо в кінцевому вигляді формули моделі.

вигляді вузького прямокутника в межах периметру враження (далі – полоса), на якій вплив НВ буде або більшим (у випадку більшої наближеності до лінії МП), або меншим;

- полоса має характеристики: w_t – ширина, d_{jt} – висота, так що $\sum_{j=1}^m d_{jt} = w_t/2$;

- оскільки для кожної такої j -ї полоси на i -му ПМ вплив НВ буде різним, то розрахунок впливу на мешканців для окремої полоси здійснюватиметься таким чином:

$$PE_{jt} = d_{jt} C_{jt} k_{jt} w_t, \quad (9)$$

де C_j – значення густоти населення для j -ї полоси на i -му ПМ;

d_{jt} – висота j -ї полоси i -го ПМ;

k_{jt} – коефіцієнт шкідливості впливу, значення якого визначається спеціальними уповноваженими органами та службами залежно від відстані від МП та властивостей НВ для кожної j -ї полоси i -го ПМ;

- визначення сумарного впливу НВ на виокремлені групи населення, навколишнє середовище, майно, прибуток підприємств по всьому МП з урахуванням умов (7) та (8) здійснюватиметься за такою формулою:

$$PE = 2 \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^m \left((C_{jt}^1 + C_{jt}^2 + C_{jt}^3) w_t d_{jt} k_{jt} x_t + C_t' x_t' + C_t'' x_t'' \right) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} x_t, \quad x_t', \quad x_t'' &= \overline{0, 1} \\ x_t + x_t' + x_t'' &= \overline{1, 3} \end{aligned}$$

Для випадків негативного впливу НВ на різні значення C лише у разі настання НП необхідно включити ймовірнісну складову до (10):

$$\left\{ \begin{aligned} TR &= \sum_{t=1}^n p_t \left((C_t^1 + C_t^2 + C_t^3) x_t + C_t' x_t' + C_t'' x_t'' \right) \\ x_t, x_t', x_t'' &= \overline{0, 1} \\ x_t + x_t' + x_t'' &= \overline{1, 3} \end{aligned} \right. \quad (11)$$

Актуальність моделювання ризику при ПНВ з метою забезпечення цього процесу підтверджує не лише значний розмір понесених втрат у зв'язку з настанням НП (як для перевізника, так і для інших фізичних та юридичних осіб), а й: *по-перше*, недоотримання прибутку в майбутніх періодах перевізником, вантажовідправником та одержувачем, ін-

шими зачепленими сторонами внаслідок настання НП, по-друге, значний розмір відшкодування можливих втрат для населення та необхідність їх здійснення у майбутньому.

Доречно зазначити, що сума загальних втрат внаслідок НП становитиме втрати перевізника (припустимо, що перевізник та вантажовласник є однією стороною процесу транспортування) та втрати населення (за вирахуванням компенсації, що вимагається від перевізника за законодавством – пунктом 7 Постанови Кабінету Міністрів України № 733), тобто:

$$V_{\text{загал}} = V_{\text{перевізник}} + V_{\text{насел}} + V_{\text{підпр}}, \quad (12)$$

де $V_{\text{перевізник}}$ – втрати, пов'язані з повною чи частковою втратою або пошкодженням вантажу, виплати щодо компенсації збитків населенню, відшкодування заподіяної шкоди навколишньому середовищу та, у разі їх наявності, компенсація збитків інших підприємств, що здійснюють свою діяльність на враженій території (ця група витрат носить переважно одноразовий характер);

$V_{\text{насел}}$ – частина невідшкодованих втрат населення, можуть складатися з альтернативних витрат, що пов'язані з вимушеним тимчасовим перебуванням поза місцем проживання або переїздом до іншого постійного чи тимчасового місця проживання, а також, у випадку завдання більш значної шкоди фізичному та психічному здоров'ю, витратами на реабілітаційні заходи, оздоровчі процедури тощо. Вони мають як одноразовий, так і багаторазовий характер, що проявляється в необхідності здійснення виплат у певній кількості майбутніх періодів;

$V_{\text{підпр}}$ – витрати, що можуть мати місце у випадку заподіяння шкоди майну чи діяльності підприємства внаслідок настання НП з НВ. Оскільки матеріальні втрати щодо пошкодження майна за законодавством відшкодовуються перевізником, то $V_{\text{підпр}}$ становитимуть упущені прибутки внаслідок перешкоджання безперебійній діяльності підприємства через НП.

У зв'язку з визначеною умовною структурою втрат від настання НП та специфікою кожної групи втрат, слід відобразити, як втрачені суми коштів на час настання НП могли бути використані підприємствами та населенням у майбутніх періодах. Для групи витрат перевізника розрахунок майбутньої вартості втрачених грошових коштів матиме вигляд:

$$FV_{V_{\text{перевізник}}} = V_{\text{перевізник}} (1 + nr), \quad (13)$$

де $FV_{V_{\text{перевізник}}}$ – майбутня вартість втрат коштів перевізником;

n – кількість періодів використання позикових коштів;

r – річна відсоткова ставка за позиковими коштами.

Припускаючи і те, що для забезпечення безперервності діяльності підприємства використовувалися ще й позикові кошти (частина яких також була використана для здійснення відшкодувань), тобто $V_{\text{перевізні}} = K_{\text{власні}} + K_{\text{позикові}}$, то за цими коштами передбачається додаткова сплата кредитору за тимчасове їх використання, тобто:

$$FV_{K_{\text{позикові}}} = K_{\text{позикові}}(1 + nr), \quad (14)$$

де $FV_{K_{\text{позикові}}}$ – майбутня вартість позикових коштів перевізника;

$K_{\text{позикові}}$ – теперішня вартість позикових коштів перевізника.

Таким чином, на основі розрахунків майбутньої вартості втрачених грошових коштів, можна відобразити загальну суму майбутніх втрат для підприємства з урахування фактору часу та агрегованої норми прибутковості:

$$V_{\text{загал (перевізні)}} = FV_{V_{\text{перевізні}}} \times N_{\text{прибутк}}, \quad (15)$$

де $N_{\text{прибутк}}$ – норма прибутковості від діяльності підприємства, що залежить від значення n як при визначенні $FV_{V_{\text{перевізні}}}$, так і їх складової частини $FV_{K_{\text{позикові}}}$, специфіки діяльності підприємства, циклічності руху грошових коштів.

Аналогічно розраховуються втрати як майна, так і коштів для інших підприємств, що або втратили свої матеріальні ресурси, або мали призупинити свою діяльність. Втрати таких підприємств у поточному періоді становитимуть усі втрати (фактичні та альтернативні) за вирахуванням компенсованих втрат перевізником.

У випадку втрат населення, можна стверджувати, що $V_{\text{насел}} = V_{\text{разові}} + V_{\text{багаторазові}}$, при цьому $V_{\text{разові}}$ обов'язково мають місце у разі настання НП та повною мірою чи частково компенсуються перевізником, тоді як $V_{\text{багаторазові}}$ можуть і не мати місця, залежно від ступеня тяжкості НП, дії НВ, конкретного розташування населення в зоні ПМ, де сталася НП тощо. Це можуть бути втрати, пов'язані з періодичною необхідністю відновлення здоров'я особи, якщо компенсація таких втрат не передбачена законодавством, зростання витрат на проїзд до місця роботи при попередній необхідності зміни місця проживання внаслідок НП, вимушеної зміни місця роботи та отримання внаслідок цього меншого окладу тощо.

Ураховуючи особливості кожної з груп втрат населення, можна визначити суму загальних втрат коштів населенням із включенням фактору часу таким чином:

$$V_{\text{загал (насел)}} = V_{\text{разові}}(1 + nr) + V_1(1 + (n - (n - 1))r) + V_2(1 + (n - (n - 2))r) + \dots + V_m(1 + nr), \quad (16)$$

де V_1, V_2, \dots, V_m – m груп багаторазових втрат коштів населенням, що мають місце в різні часові періоди.

Неоднорідність сукупності враховуваних факторів при моделюванні ризику при ПНВ різними дослідниками передбачає, з одного боку, доцільність вибору певної моделі для окремого практичного випадку ПНВ та, з іншого боку, необхідність розробки підходу до усунення незіставності отриманих результатів розрахунків. Було здійснено спробу побудови всеохоплюючої моделі оцінювання ризику при ПНВ у (10) та (11), однак на практиці аналіз маршруту для ПНВ може часто передбачати використання ширшого арсеналу підходів для отримання надійніших результатів оцінювання ризику. Тому, крім рекомендації застосування (10) та (11) при оцінці розміру ризику при ПНВ, доцільно запропонувати підхід щодо усунення розрізненості природи факторів, які враховуються для моделювання ризику в (1–6).

Серед розглянутих моделей оцінювання ризику при ПНВ можна виділити три опорні (1–4), та переважно специфічні (5, 6). Якщо отримані результати за першими чотирма моделями піддаються певній алгоритмізації щодо подальшого вибору найбільш безпечного МП, то останні дві необхідно віднести до допоміжних і застосовувати переважно за попередньо визначених умов і модифікацій.

Отже, можна запропонувати підхід до усунення незіставності отриманих результатів розрахунків за (1), (3) та (4), кінцевою метою якого є вибір найбільш безпечного МП у межах допустимих значень факторів ризику для перевізника (рис. 2).

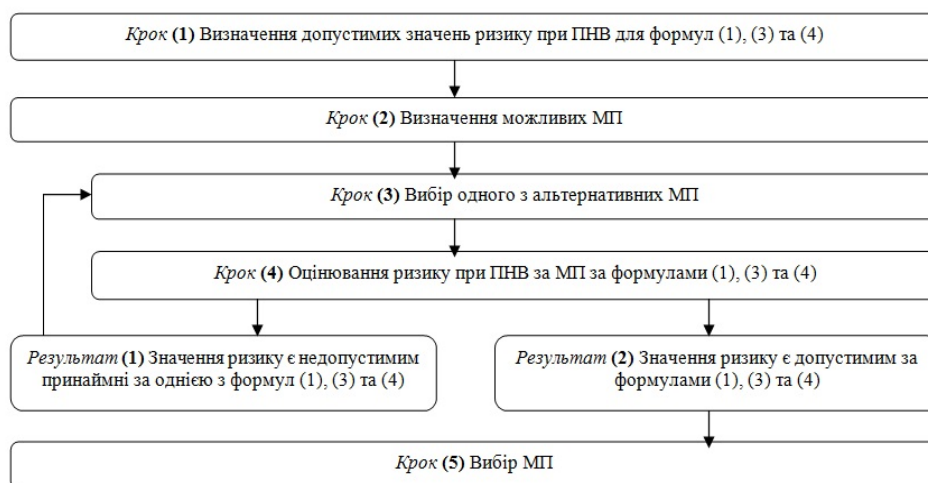


Рис. 2. Методичний підхід до усунення незіставності результатів оцінювання ризику при ПНВ

Перевірити представлений методичний підхід доцільно на прикладі. *Крок (1)* визначаємо допустимі значення ризику при ПНВ для (1), (3) та (4). Умовимося, що для (1) критичне $TR = 10$ (осіб), для (3) $PE = 460$ (осіб), а для (4) $IP = 0.025$.

Припустимо, що є три альтернативні маршрути (*Крок (2)*) для ПНВ ($A-B$, $C-D$, $E-F$), серед яких необхідно обрати найбезпечніший із використанням запропонованого методичного підходу. Для спрощення розрахунків кожен із МП має по три ПМ (тобто, $n = 3$), при цьому кожен МП має такі характеристики:

- 1) $A-B$: $C_1 = 600$; $C_2 = 700$; $C_3 = 650$; $p_1 = 0.02$; $p_2 = 0.025$; $p_3 = 0.03$.
- 2) $C-D$: $C_1 = 96$; $C_2 = 112$; $C_3 = 40$; $p_1 = 0.031$; $p_2 = 0.029$; $p_3 = 0.025$.
- 3) $E-F$: $C_1 = 215$; $C_2 = 203$; $C_3 = 40$; $p_1 = 0.009$; $p_2 = 0.006$; $p_3 = 0.01$.

За *Кроком (3)* обираємо один із маршрутів, наприклад $A-B$, та здійснюємо оцінювання ризику при ПНВ за (1), (3) та (4) – *Крок (4)*:
 $TR = 600 \times 0.02 + 700 \times 0.025 + 650 \times 0.03 = 12 + 17.5 + 19.5 = 49 \rightarrow$
 недопустимий ризик;

$PE = 600 + 700 + 650 = 1950 \rightarrow$ недопустимий ризик;

$IP = 0.025 + 0.03 + 0.02 = 0.075 \rightarrow$ недопустимий ризик.

Отримавши *Результат (1)*, повертаємось до *Кроку (3)*, обравши цього разу МП $C-D$. Переходимо до *Кроку (4)*:

$TR = 96 \times 0.031 + 112 \times 0.029 + 40 \times 0.025 = 7.224 \rightarrow$ допустимий ризик;

$PE = 96 + 112 + 40 = 248 \rightarrow$ допустимий ризик;

$IP = 0.031 + 0.029 + 0.025 = 0.085 \rightarrow$ недопустимий ризик.

Хоча за (1) та (3) значення ризику є допустимим, за (4) воно все ще не відповідає висунутій у *Кроці (1)* вимозі. Маємо *Результат (1)*, знов повертаємось до *Кроку (3)*, обираємо МП $E-F$ та переходимо до *Кроку (4)*:

$TR = 215 \times 0.009 + 203 \times 0.006 + 40 \times 0.01 = 3.553 \rightarrow$ допустимий ризик;

$PE = 215 + 203 + 40 = 458 \rightarrow$ допустимий ризик;

$IP = 0.009 + 0.006 + 0.01 = 0.025 \rightarrow$ допустимий ризик.

Отримавши *Результат (2)*, переходимо до *Кроку (5)* – вибору МП, в чому і полягало наше завдання.

Викладений матеріал дає змогу зробити висновок про значну неоднорідність підходів до оцінювання ризику при ПНВ, що визначається специфічністю проблеми та складністю коректного врахування всіх діючих факторів. Кількісна оцінка та визначення міри важливості кожної зі складових моделі – питання, що вимагають значної уваги при подальшій модифікації існуючих підходів та розробці нових. Наведені недоліки кожної з моделей у міру зосередження на окремих факторах ризику при здійсненні перевезення водночас є і перевагами для окремих практичних випадків, на чому також наголошувалося.

Запропонована модель має поліпшити точність оцінки можливого ризику при ПНВ, оскільки такі зміни орієнтовані на задоволення

реальних потреб сторін здійснення перевезення при виборі маршруту та оцінюванні ризику. Оцінка матеріальних втрат для фізичних та юридичних осіб з урахуванням фактору часу свідчить про нагальність та актуальність убезпечення ПНВ, а представлений підхід до усунення незіставності результатів оцінювання ризику за різними моделями ще раз продемонстрував багатоаспектність і складність цього питання. Хоча проведена робота не елімінує необхідності подальшого вдосконалення застосовуваних моделей, однак модифікація розглянутих підходів у світлі вимог практики є каталізатором якісної переоцінки результативності господарської практики не лише в економічному, а й у соціальному та екологічному вимірах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *National transportation Statistics 2010*. U.S. Department of Transportation. Bureau of Transportation Statistics [Електронний ресурс]. — Way of access : http://www.bts.gov/publications/national_transportation_statistics/df/entire.pdf.
2. *Державний комітет статистики України* [Електронний ресурс]. — Режим доступу : www.ukrstat.gov.ua.
3. *Apl E. Risk-based transportation Planning Practice: Overall Methodology and A Case Example* / E. Apl // *INFOR*. — 1995. — Vol. 33. — P. 4–19.
4. *Erkut E. Modeling of transport Risk for Hazardous Materials* / E. Erkut, V. Verter // *Operations Research*. — 1998. — Vol. 46. — № 5. — P. 625–642.
5. *Erkut E. Catastrophe Avoidance Models for Hazardous Materials Route Planning* / E. Erkut, A. Ingolfsson // *Transportation Science*. — 2000. — Vol. 34. — P. 165–179.
6. *ReVelle C. Simultaneous Siting and Routing in the Disposal of Hazardous Wastes* // C. ReVelle, J. Cohon, D. Shobrys // *Transportation Science*. — 1991. — Vol. 31. — P. 138–145.
7. *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.
8. *Saccommanno F. F. Economic Evaluation of Routing Strategies for Hazardous Road Shipments* / F. F. Saccommanno, A. Chan // *Transportation Research*. — 1985. — № 1020. — P. 12–18.
9. *Abkovitz M. Selecting Criteria for designating Hazardous Materials Highway Routes* // Abkovitz M., Lepofsky M., Cheng P. // *Transportation Research*. — 1992. — № 1333. — P. 30–35.
10. *Sivakumar R. A. A Multiple Route Conditional Risk Model for Transporting Hazardous Materials* / R. A. Sivakumar, R. Batta, M. H. Karwan // *INFOR*. — Vol. 33. — P. 20–33.
11. *Петров С. В. Совершенствование методов оценки и управления аварийным риском в чрезвычайных ситуациях при перевозке нефтепродуктов на железнодорожном транспорте* : дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.26.02 / Петров Сергей Викторович ; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ. — М., 2009. — 142 с.

12. *Слюсарь Н. Н.* Управление экологическими рисками транспортировки взрывчатых веществ железнодорожным транспортом : дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 03.00.16 / Слюсарь Наталья Николаевна. — Пермь, 2004. — 149 с.
13. *Пуликовский К. Б.* Повышение безопасности транспортировки нефти на основе управления риском: дис. на соискание нацуч. степени канд. техн. наук : 05.26.03 / Пуликовский Константин Борисович. — Уфа, 2007. — 130 с.
14. *Про затвердження Порядку і правил проведення обов'язкового страхування відповідальності суб'єктів перевезення небезпечних вантажів в випадок настання негативних наслідків під час перевезення небезпечних вантажів* : постанова Кабінету Міністрів України від 1 черв. 2002 р. № 733.

Стаття надійшла до редакції 21.12.2010.

Коноваленко Ю. Моделирование рисков при перевозке опасных грузов.

Представлен теоретико-методологический анализ основных подходов к оценке и моделированию транспортных рисков при перевозке опасных грузов, на основе которого предложены конструктивные модификации к существующим подходам с целью повышения их практической ценности. Обоснована целесообразность внесения предлагаемых изменений и обозначены преимущества практического применения каждой модели.

Konovalenko Y. Modeling of risks for hazardous materials transportation.

Theoretical and methodological analysis of the main approaches to assessment and modeling of hazardous materials transportation risks is presented and on its basis constructive modifications for the existing approaches with the purpose of reinforcing their practical value are proposed. Appropriateness of introducing the changes put forward by the author is justified and advantages of applying of each of the models for certain real-life cases are specified.