

ЦИФРОВА ЕКОНОМІКА, МАТЕМАТИЧНІ І ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ЕКОНОМІКИ / DIGITAL ECONOMICS, MATHEMATICAL AND INSTRUMENTAL METHODS OF ECONOMICS

УДК 656.2:656.08:338.14

ГНЕННИЙ О.М.^{1*}, ДІДЕНКО Д.В.²

1* Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, e-mail: oleggnennij@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2944-5105

2* АТ «Укрзалізниця», ORCID ID: 0000-0002-7201-8504

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЗАХОДІВ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Мета. Метою роботи є розробка науково-методичного підходу до прогнозування кількості транспортних подій та грошової оцінки втрат від них, що дозволить визначати економічний ефект заходів забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті та оцінювати їх економічну ефективність на базі ризик-орієнтованого підходу. **Методика.** Ефективність інвестицій визначається як співвідношення ефекту з інвестиціями, що його спричиняють. Для кількісної оцінки рівня безпеки руху поїздів цей рівень розглядається у зворотному зв'язку з рівнем ризику, що пов'язаний з рухом поїздів. Тому й кількісна оцінка підвищення рівня безпеки може бути визначена як зменшення рівня ризику, пов'язаного з рухом поїздів. Рівень елементарного ризику може бути оцінений у грошовій формі як добуток ймовірності настання відповідної події та величини втрат, які вона може спричинити. Ризик, пов'язаний з рухом поїздів, може бути визначений виходячи з ймовірності настання транспортних подій та математичних сподівань втрат від настання транспортних подій. **Результати.** В роботі розроблено методичний підхід до моделювання кількості транспортних подій на базі теорії надійності технічних систем, а також запропоновано підходи до визначення грошових оцінок транспортних подій за їх видами. Вказані результати мають ознаки **наукової новизни**.

Ключові слова: безпека руху поїздів, транспортна подія, ймовірність транспортної події, ризик, грошова оцінка втрат

Постановка проблеми

Транспорт є сферою діяльності людей, яка характеризується підвищеною небезпекою. Однією з головних задач залізничного транспорту є забезпечення безпеки на транспорті.

Безпеку на залізничному транспорті доцільно розглядати у трьох площинах:

- безпека руху;
- безпека від зовнішнього впливу;
- участь виду транспорту у системі національної безпеки держави.

У цій роботі досліджуються питання забезпечення безпеки руху поїздів.

Під забезпеченням безпеки руху на залізничному транспорті розуміється діяльність органів залізничного транспорту,

органів державної влади й органів місцевого самоврядування, підприємств, установ і громадян, спрямована на безперебійне функціонування залізниць і недопущення виникнення аварійних ситуацій у перевізному процесі, а також на зниження наслідків можливих транспортних подій. Безпека руху на залізничному транспорті тісно пов'язана з забезпеченням схоронності вантажів і захистом життя і здоров'я пасажирів та працівників транспорту, охороною навколишньої природного середовища.

Умовно основні напрямки заходів із забезпечення та підвищення безпеки руху поїздів можна поділити на три групи:

- дисциплінарні заходи;
- утримання та розвиток технічних засобів;

- навчання персоналу.

Необхідно відмітити, що в умовах кризових підвищення рівня безпеки в основному досягалося за рахунок дисциплінарних заходів. Однак проведені дослідження свідчать про зменшення впливу названого фактору на рівень безпеки руху поїздів [1]. В умовах ринкової економіки пріоритетним повинен стати економічний (а не адміністративний, заснований на дисциплінарних заходах) підхід до забезпечення безпеки руху поїздів.

Суперечність між необхідністю видатків на забезпечення безпеки руху поїздів, постійного підвищення ефективності заходів із забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті та раціоналізацією витрат на утримання інфраструктури та експлуатацію залізниць, в умовах ринкової економіки та реформування залізничного транспорту, вимагає постійного пошуку нових форм управління безпекою руху, однією з яких є запровадження ризик-орієнтованого підходу і забезпечення гарантованого прийнятного рівня безпеки пасажирів, працівників транспорту, інших осіб, рухомого складу, об'єктів стаціонарної залізничної інфраструктури та навколишнього середовища.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є розробка науково-методичного підходу до прогнозування кількості транспортних подій та грошової оцінки втрат від них, що дозволить визначати економічний ефект заходів забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті та оцінювати їх економічну ефективність на базі ризик-орієнтованого підходу.

Виклад основного матеріалу

У загальному випадку, ефективність інвестицій визначається як співвідношення ефекту (тобто корисного результату, що виражений у грошовій формі) з інвестиціями, що його спричиняють (також вираженими у грошовій формі). Існує досить добре розроблений інструментальний апарат оцінки ефективності інвестиційних проектів, який складається з принципів визначення ефективності, критеріїв ефективності, показників ефективності та методів їх визначення. Цей інструментальний апарат

мало залежить від специфіки інвестиційного проекту. Особливими для різних типів інвестиційних проектів є методичні підходи до визначення результатів та їх оцінки у грошовій формі.

Для кількісної оцінки рівня безпеки руху поїздів потрібно розглянути цей рівень у зворотному зв'язку з рівнем ризику, що пов'язаний з рухом поїздів. Тобто, рівень безпеки тим вищий, чим нижчий рівень ризику. Тому й кількісна оцінка підвищення рівня безпеки може бути визначена як зменшення рівня ризику, пов'язаного з рухом поїздів.

Відомо, що рівень елементарного ризику може бути оцінений у грошовій формі як добуток ймовірності настання відповідної події та величини втрат, які вона може спричинити. Тому ризик, пов'язаний з рухом поїздів, може бути визначений виходячи з ймовірності настання транспортних подій (за їх видами згідно класифікації [2]) та математичних сподівань втрат від настання транспортних подій (також за їх видами) [1].

Загальний розмір втрат від транспортної події певного виду визначається як сума оцінок математичних сподівань розміру матеріальних втрат (економічні наслідки) грошової оцінки шкоди життю та здоров'ю людей (соціальні наслідки) та грошової оцінки шкоди навколишньому середовищу (екологічні наслідки).

Множенням щільності розподілу випадкової величини кількості транспортних подій певного виду за рік на грошову оцінку втрат від транспортної події цього виду (яка у цьому випадку розглядається як константа) визначається щільність розподілу випадкової величини загальних втрат (у грошовому виразі) від настання транспортних подій цього виду упродовж року. Грошова оцінка ризику, пов'язаного з рухом поїздів, визначається як сума математичних сподівань законів розподілу річних втрат від настання транспортних подій за усіма їх видами. Прямий економічний ефект від заходів із забезпечення та підвищення безпеки руху визначається як різниця між грошовою оцінкою ризику, пов'язаного з рухом поїздів, визначеною без урахування проведення цих заходів, та грошовою оцінкою цього ризику, визначеною за умови здійснення вказаних заходів.

Оскільки математичне сподівання втрат від транспортної події може бути розглянуто як константа, математичне сподівання втрат від транспортних подій, що можуть відбутись у визначений термін часу, визначається як добуток математичного сподівання кількості транспортних подій, що очікуються, так математичного сподівання вартісної оцінки втрат від однієї транспортної події. Таким чином, одним з основних питань при оцінці економічної ефективності заходів з підвищення безпеки руху поїздів є прогнозування кількості транспортних подій у різних умовах (з реалізацією заходів, що розглядаються, та без такої реалізації).

Для вирішення цієї задачі доцільно розглядати послідовність випадкових подій, які представляють собою транспортні події, що повторюються. При цьому, якщо транспортна подія розглядається як відмова технічної системи, послідовність транспортних подій утворює потік відмов. Тому, у подальшому використовується термін потік транспортних подій.

Кількість транспортних подій упродовж визначеного інтервалу часу (наприклад, рік) може бути описана дискретною випадковою величиною. Якщо $F_n(t)$ ймовірність того, що на інтервалі часу $(0, t)$ відбудеться не менше, ніж n транспортних подій, тобто:

$$F_n(t) = P\{V_t \geq n\}, \quad (1)$$

де V_t – кількість транспортних подій, що відбуваються на інтервалі часу $(0, t)$.

Тоді ймовірність появи точно n транспортних подій на заданому інтервалі часу $(0, t)$ визначається за формулою:

$$P\{V_t = n\} = P\{V_t \geq n\} - P\{V_t \geq n + 1\} = F_n(t) - F_{n+1}(t) \quad (2)$$

Таким чином, формула (2) задає закон розподілу ймовірної величини, що характеризує кількість транспортних подій упродовж заданого періоду часу.

За прогнозне значення кількості транспортних подій доцільно використовувати математичне сподівання ймовірної величини кількості транспортних

$$H(t) = \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot P\{V_t = n\} = \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot F_n(t) - \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot F_{n+1}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(t) \quad (3)$$

Подія, яка полягає у тому, що на інтервалі часу $(0, t)$ відбудеться щонайменше n транспортних подій, еквівалентна події, що момент n -ї транспортної події передреує

$$F_n(t) = P\{V_t \geq n\} = P\{T_n < t\} = P\left\{\sum_{k=1}^n \chi_k < t\right\} \quad (4)$$

де T_n – інтервал часу до n -ї транспортної події;

χ – випадкова величина часу між транспортними подіями.

Випадкові величини χ є незалежними, тому визначення функції $F_n(t)$, а відповідно, і функції математичного

подій упродовж заданого періоду часу.

За визначенням математичного сподівання дискретної випадкової величини функція математичного сподівання кількості транспортних подій у залежності від моменту закінчення заданого інтервалу часу має вигляд:

моменту часу t . У свою чергу, інтервал часу до моменту n -ї транспортної події дорівнює сумі інтервалів часу між транспортними подіями. Тобто:

сподівання кількості транспортних подій, зводиться до задачі о розподілі суми незалежних випадкових величин. При цьому, ці величини доцільно розглядати як однаково

розподілені, оскільки мова йде про прогнозні кількості транспортних подій у певних конкретних умовах, а зміна законів розподілу часу між транспортними подіями означає зміну зазначених умов. Зазвичай для вирішення подібних задач використовується

$$F_n(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{t+\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_0^{\infty} \omega(y) e^{ivy} dy \right]^n \cdot e^{-ivt} dv dt \quad (5)$$

де $\omega(y)$ – щільність розподілу випадкової величини часу між транспортними подіями.

Слід відзначити, що чисельно задачу статистичної оцінки математичного сподівання кількості транспортних подій при відомому законі розподілу часу між транспортними подіями доцільно вирішувати за допомогою методу статистичних випробувань за такою схемою:

1. Генерується реалізація випадкової величини, що рівномірно розподілена на відрізьку $[0;1]$.

2. За отриманою реалізацією випадкової величини, що рівномірно розподілена на відрізьку $[0;1]$, та зворотною функцією закону розподілу часу між транспортними подіями визначається реалізація зазначеної випадкової величини.

3. Фіксується порядковий номер отриманої реалізації з початку поточного циклу випробувань та накопичена сума інтервалів часу між транспортними подіями з початку поточного циклу випробувань.

4. Кроки 1 – 3 повторюються, доки накопичена сума інтервалів часу між транспортними подіями не перевищить верхню межу заданого фіксованого інтервалу часу, для якого визначається кількість транспортних подій. При цьому за результат циклу випробувань приймається порядковий номер реалізації випадкової величини

$$T_{cp} = \frac{T}{V} \quad (6)$$

де T_{cp} – середній час між транспортними подіями, діб;

T – тривалість періоду часу, за яким проводиться статистична оцінка, діб;

V – кількість транспортних подій упродовж періоду часу T .

Показник T_{cp} є статистичною оцінкою математичного сподівання закону розподілу часу між транспортними

метод характеристикних функцій.

З теорії надійності технічних систем відомо [3], що для зазначеного випадку функція $F_n(t)$ задається залежністю:

інтервалу між транспортними подіями, який передував останньому випробуванню.

5. Цикли випробувань повторюються певну кількість разів. З результатів циклу випробувань формується статистична вибірка кількостей транспортних подій. Об'єм вибірки дорівнює кількості циклів статистичних випробувань. Тому кількість циклів випробувань повинна забезпечувати потрібну точність статистичних оцінок параметрів вибірки.

6. Статистичною оцінкою математичного сподівання кількості транспортних подій є вибіркова середня результатів циклів випробувань.

Таким чином, ключовим питанням для прогнозування кількості транспортних подій є встановлення закону розподілу часу між транспортними подіями. Це досягається за рахунок статистичного оцінювання параметрів закону розподілу, та встановлення його типу (перевірки відповідних статистичних гіпотез).

Статистичне оцінювання параметрів випадкових величин, що використовуються для прогнозування кількості транспортних подій, базується на аналізі ретроспективних даних з безпеки руху поїздів.

Середній час між транспортними подіями визначається за формулою:

подіями. Якщо інтенсивність¹ транспортних подій може вважатись постійною, час між транспортними подіями розподілений за експоненціальним законом.

¹ термін використовується за аналогією з поняттям інтенсивність відмов. Функція інтенсивності

визначається залежністю: $\lambda(t) = \frac{\omega(t)}{1 - \int_0^t \omega(t) dt}$, де $\omega(t)$ -

щільність розподілу часу між транспортними подіями

При цьому щільність розподілу $\omega(t)$ задається формулою:

$$\omega(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (7)$$

Експоненціальний закон розподілу є однопараметричним. При цьому параметр λ закону розподілу характеризує інтенсивність подій, яка є постійною та не залежить від часу. Як відомо, математичне сподівання експоненціального закону є зворотною величиною параметра λ . Тому у випадку такого розподілу достатньо визначити статистичну оцінку математичного сподівання, за якою визначається статистична оцінка інтенсивності транспортних подій: $\bar{\lambda} = T_{cp}^{-1}$.

Як відомо, випадкова величина, яка є сумою n -ї кількості однаково розподілених за експоненціальним законом випадкових величин, розподілена за Гамма-розподілом з параметрами λ та n , де λ – параметр експоненціального закону розподілу доданків, n – кількість доданків. З цього випливає, що математичне сподівання кількості транспортних подій на основі формули (3) при експоненціальному законі розподілу часу між подіями визначається як сума ряду:

$$H(t) = \sum_{n=1}^{+\infty} \int_0^t \frac{\lambda^n}{\Gamma(n)} t^{n-1} e^{-\lambda t} dt \quad (8)$$

де $\Gamma(n)$ – гамма-функція.

Сума ряду (8) є добутком тривалості періоду та інтенсивності подій. Тобто при експоненціальному розподілі часу між транспортними подіями математичне сподівання кількості транспортних подій дорівнює: $H(t) = \lambda t$.

У разі, коли закони розподілу часу між подіями відрізняються від експоненціальних, для статистичної оцінки параметрів розподілу необхідно виконати статистичну оцінку моментів 2-го, 3-го та більших порядків (у залежності від кількості параметрів законів розподілу). Для цього потрібні відомості щодо моменту настання транспортних подій у періоді, що аналізується. Оцінка проводиться за відомими з математичної статистики залежностями. Параметри законів розподілу оцінюються шляхом вирішення системи рівнянь, що прирівнюють статистичні оцінки моментів з їх теоретичними виразами через

параметри законів розподілу.

При використанні для статистичної оцінки параметрів законів розподілу часу між транспортними подіями ретроспективних даних декількох звітних періодів, на наш погляд, доцільно забезпечити порівнянність кількості транспортних подій різних звітних періодів за умовами руху. На наш погляд очевидно, що, за інших рівних умов, кількість транспортних подій буде тим вища, чим вища інтенсивність руху. Тому, для статистичної оцінки математичного сподівання часу між транспортними подіями доцільно використовувати приведену кількість транспортних подій. При цьому, за коефіцієнти приведення доцільно приймати співвідношення середньої вантажонапруженості брутто. Тобто, приведена кількість транспортних подій може бути визначена за формулою:

$$V_{np} = \sum_{j=1}^m V_j \cdot \frac{G_1}{G_j} \quad (9)$$

де V_{np} – приведена кількість транспортних подій за увесь період, що аналізується;

V_j – кількість транспортних подій у j -й частині періоду, що аналізується;

G_1 – вантажнапруженість бруто у 1-й частині (найближчої до поточного моменту часу) періоду, що аналізується, т-км/км;

G_j – вантажнапруженість бруто у j -й частині періоду, що аналізується, т-км/км;

m – кількість частин, на яку розбито періоду, що аналізується.

Таким чином, застосування формули (9) дозволить забезпечити приведення (за інтенсивністю руху) кількості транспортних подій до умов, що склалися у найближчій до поточного моменту часу частині періоду, що аналізується. Приведена кількість транспортних подій використовується для статистичного оцінювання часу між транспортними подіями за формулою (6).

Не менш важливим питанням, чим прогнозування кількості транспортних подій, є їх диференціація за видами, оскільки вартісна оцінка втрат від настання транспортних подій різних видів суттєво різняться.

Для вирішення окресленої задачі доцільно

$$V_k = V \cdot p_k \quad (10)$$

де V_k – кількість транспортних подій k -го виду;

V – загальна прогнозна кількість транспортних подій;

P_k – ймовірність настання транспортної події k -го виду у разі, коли відбувається транспортна подія.

При цьому, за визначенням простору елементарних подій, сума ймовірностей настання транспортних подій усіх видів дорівнює одиниці.

Аналітичне визначення ймовірності настання транспортної події певного виду навряд чи можливе, тому ймовірності у формулі (10) можуть бути замінені їх статистичними оцінками, які визначаються як відносні частоти настання транспортних подій за їх видами (визначаються як відношення кількості транспортних подій певного виду до загальної кількості транспортних подій за період, що аналізується).

Розглянемо підхід до визначення вартісної оцінки втрат від настання транспортної події за видами.

розглядати види транспортних подій як елементарні події, які утворюють простір елементарних подій, що можуть виникнути при настанні транспортної події. Тоді, кількість транспортних подій певного виду, яка може відбутися при настанні певної кількості транспортних подій буде розподілена за біноміальним законом. Як відомо, математичне сподівання такої випадкової величини дорівнює добутку кількості випробувань (експериментів) та ймовірності настання події у кожному випробуванні. Тобто, прогнозна кількість транспортних подій певного виду (яку доцільно прийняти на рівні математичного сподівання) визначається за формулою:

Порушення – це транспортна подія, що виникла під час руху рухомого складу залізничного транспорту, але не закінчилась інцидентом [2]. До порушення відносяться [2]:

- негородження сигналами небезпечного місця для руху поїздів при виконанні робіт;
- перехід на інші засоби сигналізації і зв'язку для організації руху поїздів на 8 годин і більше через несправність технічних засобів;
- наявність у колії гостродефектних рейок (в тому числі у накладках);
- несправність букси або інші технічні несправності вагонів, локомотивів, секцій локомотивів, секцій дизель-поїздів та електросекцій чи неправильні дії причетних працівників, що призвели до відчеплення

рухомого складу від поїзда на шляху його прямування;

– наїзд на сторонні предмети, деталі верхньої будови колії, рухомого складу, візки, лейтери, гальмові башмаки тощо;

– порушення технічних умов навантаження і кріплення вантажу, які не викликали вихід вантажу за встановлений габарит навантаження, але призвели до відчеплення вагона від поїзда на будь-якій станції, крім кінцевої;

– відмови в роботі електричної централізації, ключової залежності стрілок і сигналів на станціях, автоблокування на перегонах, енергопостачання на станціях і перегонах, несправності контактної мережі, зв'язку, що не усунені протягом 8 годин і більше, а пристроїв на залізничних переїздах протягом 4 годин і більше;

– виникнення на шляху прямування несправностей локомотива, що спричинили зупинку пасажирського чи вантажного поїзда на перегоні чи станції з вимогою допоміжного локомотива;

– несправність колії або стрілочних переводів на головних коліях, що виявлені вагоном-колієвимірником, при яких швидкість руху поїздів обмежена до 15 км/год.;

– несправність колісних пар, що призвели до необхідності їх заміни;

– невірні дії причетних працівників, що призвели до затримки поїзда;

– перекриття дозволяючого показання сигналу на заборонне, що викликало проїзд заборонного сигналу на станціях;

– несвоєчасне закінчення робіт у "вікно", що призвели до затримки поїздів;

– вихід рухомого складу за граничний стовпчик на станції.

На наш погляд, вартісна оцінка втрат від настання порушення вимірюється витратами на їх усунення. Витрати визначаються за елементами витрат виходячи з трудомісткості робіт з усунення порушення, середньої заробітної плати задіяних працівників, вартості матеріальних ресурсів, що використовуються, нарахування внесків пенсійного та соціального страхування, амортизаційних відрахувань тощо. Витрати, пов'язані із затримкою поїздів визначаються виходячи з часу затримки та укрупненої витратної ставки на 1 поїздо-годину простою.

Інцидент – це транспортна подія, що

виникла під час руху рухомого складу залізничного транспорту, але не закінчилася серйозним інцидентом [2]. До інцидентів належать [2]:

– зіткнення чи сходи рухомого складу під час виконання маневрової роботи;

– переведення стрілки під маневровим складом;

– саморозчеплення, розрив автозчепу або гвинтової стяжки у вантажному поїзді та між локомотивом і першим вагоном пасажирського поїзда;

– розріз стрілки (рухомого сердечника хрестовини);

– поява несправності локомотива, моторвагонного рухомого складу або спеціального рухомого складу, вагонів, несправності колії, пристроїв СЦБ і зв'язку, контактної мережі електропостачання, які призвели до затримки поїзда на перегоні чи станції на 1 годину і більше понад графіковий час (за винятком заміни гостродефектних рейок);

– падіння деталей рухомого складу вантажних поїздів на колію;

– заміна колісної пари на шляху прямування пасажирського поїзда, що призвела до затримки пасажирського поїзда понад 2 години;

– злам бокової ферми кузова вантажного вагона, колісної пари або її елементів, боковини візка рухомого складу, надресорної чи хребтової балок пасажирських і вантажних вагонів або тріщини балок візків пасажирських вагонів;

– несправність колії або стрілочних переводів на головних коліях та маршрутах слідування пасажирських поїздів, що виявлені вагоном-колієвимірником, при яких рух поїздів забороняється;

– злам рейки і елементів стрілочних переводів;

– приймання і відправлення поїзда за неправильно приготовленим маршрутом;

– зіткнення пасажирських, вантажних поїздів або іншого рухомого складу з автотранспортними засобами або іншими самохідними машинами на залізничних переїздах з причин порушення вимог правил технічної експлуатації.

При вартісній оцінці втрат від настання інциденту, окрім витрат на його усунення та усунення його наслідків, на наш погляд, доцільно враховувати вартість вантажу "на

колесах", та вартість часу пасажирів у використана формула:
поїздах, що затримані. Для цього може бути

$$B_{зат} = \epsilon_{1n-2.ван} \cdot \sum Nt_{з.ван} + \epsilon_{1n-2.пас} \cdot \sum Nt_{з.пас} + \frac{\bar{B}_{1m}}{365 \cdot 24} \cdot \sum Nt_{з.ван} \cdot Q_n \cdot \frac{R}{100} + \bar{B}_{1n-2} \sum Nt_{з.пас} \cdot m_{пас} \cdot P_{пас} \quad (11)$$

де $B_{зат}$ – оцінка втрат від затримки поїздів, грн;

$\epsilon_{1n-2.ван}$ – укрупнена витратна ставка на 1 поїздо-годину простою вантажного поїзда, грн/поїзд-год;

$\epsilon_{1n-2.пас}$ – укрупнена витратна ставка на 1 поїздо-годину простою пасажирського поїзда, грн/поїзд-год;

\bar{B}_{1m} – середня вартість вантажу, що перевозиться, грн/т;

$\sum Nt_{з.ван}$ – поїздо-години затримки вантажних поїздів, поїзд-год;

Q_n – середня вага вантажного поїзда нетто, т/поїзд;

R – середня вартість капіталу у національному господарстві (може бути прийнята на рівні процентної ставки депозитних вкладів), % на рік;

\bar{B}_{1n-2} – вартісна оцінка 1 пасажиро-години, грн/пас-год;

$\sum Nt_{з.пас}$ – поїздо-години затримки пасажирських поїздів, поїзд-год;

$m_{пас}$ – середня кількість вагонів у пасажирському поїзді, ваг.;

$P_{пас}$ – середня населеність вагону пасажирського поїзда, пас/ваг.

Вартість однієї тони вантажу може бути визначена як відношення вартості вантажів, що перевозяться за певний період часу, до обсягу перевезень вантажів за цей період.

Вартість пасажиро-години може бути встановлена як відношення середньої місячної заробітної плати в Україні до середнього місячного фонду робочого часу.

Обмеження швидкості руху поїздів суттєво впливає на собівартість перевезень та може призвести до підвищення терміну доставки вантажу та запізнення пасажирських поїздів. Тому, на наш погляд, втрати від обмеження швидкості руху поїздів доцільно визначати таким чином:

$$B_{шв} = \epsilon_{ван.об} \cdot \sum Nt_{з.ван} + \epsilon_{ван.шв} \cdot \sum Nt_{з.пас} + \frac{\bar{B}_{1m}}{365 \cdot 24} \cdot \sum Nt_{з.ван} \cdot Q_n \cdot \frac{R}{100} + \bar{B}_{1n-2} \sum Nt_{з.пас} \cdot m_{пас} \cdot P_{пас} \quad (12)$$

де $B_{шв}$ – вартісна оцінка втрат від обмеження швидкості руху поїздів, грн;

$\epsilon_{ван.об}$ – собівартість вантажних перевезень при обмеженні швидкості руху, коп./10 т-км;

$\epsilon_{ван.шв}$ – собівартість вантажних перевезень без обмеження швидкості руху, коп./10 т-км;

Γ_{ϵ} – вантажонапруженість нетто руху вантажних поїздів на дільниці, т-км/км;

L – експлуатаційна довжина дільниці обмеження швидкості руху, км;

- $C_{пас.об}$ – собівартість пасажирських перевезень при обмеженні швидкості руху, коп./10 пас-км;
 $C_{пас.зв}$ – собівартість пасажирських перевезень без обмеження швидкості руху, коп./10 пас-км;
 $\Gamma_{пас.бр}$ – вантажнапруженість бруто руху пасажирських поїздів на дільниці, т-км/км;
 $Q_{пас}$ – середня вага бруто пасажирських поїздів, т/поїзд;
 $\Gamma_{в.бр}$ – вантажнапруженість бруто руху вантажних поїздів, т-км/км;
 $Q_{бр.ван}$ – середня вага бруто вантажного поїзда, т/поїзд;
 $V_{ван.обм}$ – обмежена швидкість руху вантажних поїздів, км/год;
 $V_{ван.діл}$ – дільнична швидкість руху вантажних поїздів без обмеження, км/год;
 $V_{пас.обм}$ – обмежена швидкість руху пасажирських поїздів, км/год;
 $V_{пас.діл}$ – дільнична швидкість руху вантажних поїздів без обмеження, км/год.

Серйозний інцидент – це транспортна подія, що виникла під час руху рухомого складу залізничного транспорту, яка могла призвести до аварії [2]. До серйозних інцидентів відносяться [2]:

- зіткнення пасажирських або вантажних поїздів з іншими поїздами чи рухомим складом, сходи рухомого складу у поїздах на перегонах і станціях, які не належать до аварій за своїми наслідками;
- приймання поїзда на зайняту колію;
- відправлення поїзда на зайнятий перегін;
- приймання і відправлення поїзда за неготовим маршрутом;
- проїзд заборонного сигналу, граничного стовпчика або сигнального знаку "Межа станції";
- переведення стрілки під поїздом;
- вихід рухомого складу на маршрут приймання (відправлення) поїзда, на перегін;
- відправлення поїзда з перекритими кінцевими кранами;
- поява на польовому або локомотивному

світлофорі дозволяючого показання сигналу замість заборонного або поява більш дозволяючого показання сигналу;

- розвалювання вантажу під час руху з порушенням габариту навантаження;
- саморозчеплення, розрив автозчепу або гвинтової стяжки у пасажирському поїзді між вагонами;
- падіння деталей рухомого складу пасажирського поїзда на колію.

Вартісні втрати від серйозного інциденту визначаються аналогічно до інциденту.

Аварія – це транспортна подія, що призвела до зіткнення пасажирських або вантажних поїздів з іншими поїздами або залізничним рухомим складом, сходи рухомого складу у поїздах на перегонах і станціях, унаслідок яких: від однієї людини до п'яти травмовано і (або) пошкоджено рухомий склад до ступеня капітального ремонту [2].

Вартісна оцінка втрат, пов'язаних з аварією, може бути визначена за формулою:

$$B_{ав} = B_{ус} + B_{зат} + B_{шв} + B_{КР} + \chi_{mp} \cdot B_{mp} \quad (13)$$

де $B_{ав}$ – вартісна оцінка втрат від аварії, грн;

$B_{ус}$ – витрат з усунення безпосередніх наслідків аварії, грн;

$B_{зат}$ – вартісна оцінка втрат, пов'язаних із затримкою поїздів, грн (визначаються за формулою 11);

$B_{шв}$ – вартісна оцінка втрат, пов'язаних з обмеженням швидкості руху поїздів, грн (визначається за формулою (12))

B_{KP} – витрати на капітальних ремонт рухомого складу, грн;

$Ч_{mp}$ – середня чисельність травмованих осіб, осіб;

B_{mp} – вартісна оцінка втрат від травмування людини, грн/особу.

Катастрофа – це транспортна подія з тяжкими наслідками, що призвела до зіткнення пасажирських або вантажних поїздів з іншими поїздами або залізничним рухомих складом, сходу рухомого складу у пасажирських або вантажних поїздах на перегонах і станціях, унаслідок яких: одна

людина або більше загинула чи шість або більше травмовано і (або) пошкоджено рухомий склад до ступеня вилучення його з інвентарного парку [2].

Вартісна оцінка втрат від катастрофи може бути встановлена за формулою:

$$B_{кат} = B_{yc} + B_{зам} + B_{ше} + B_{KP} + B_{вик} + Ч_{mp} \cdot B_{mp} + Ч_{заг} \cdot B_{заг} + B_{ину} \quad (14)$$

де $B_{кат}$ – вартісна оцінка втрат від катастрофи, грн;

$B_{вик}$ – вартість пошкодженого до ступеня виключення з інвентарного парку рухомого складу, грн/ваг.;

$Ч_{заг}$ – середня чисельність загиблих осіб унаслідок катастрофи, осіб;

$B_{заг}$ – вартісна оцінка втрат від загибелі однієї особи, грн/особу;

$B_{ину}$ – вартісна оцінка інших втрат (втрати інших осіб, постраждалих у катастрофі, вартісна оцінка екологічних наслідків тощо).

Для вартісної оцінки втрат від травмування та загибелі людей можуть використовуватись, наприклад, методичні підходи розроблені в роботі [1].

Висновки

З викладеного вище випливає, що вплив заходів з підвищення безпеки руху методами економіко-математичного моделювання може бути відображений трьома шляхами:

– зменшення інтенсивності транспортних подій, що виразиться у зменшенні прогнозованої кількості транспортних подій на визначений

проміжок часу;

– зменшення ймовірності настання тяжких транспортних подій (катастроф, аварій);

– зменшення вартісної оцінки втрат від настання транспортної події, що матиме вираз у зменшенні математичного сподівання втрат від настання транспортних подій за їх видами.

Звичайно, заходи з підвищення безпеки руху поїздів можуть чинити вплив на декілька параметрів розглянутої економіко-математичної моделі, що матиме прояв у сумісному впливі названих шляхів.

OLEH HNENNYI ^{1*}, DIDENKO D.V. ²

^{1*} Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, e-mail: oleggnennij@gmail.com, ORCID 0000-0002-2944-5105

² JSC "Ukrzaliznytsia", ORCID 0000-0002-7201-8504

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING OF THE RESULTS OF MEASURES TO ENSURE TRAFFIC SAFETY ON RAIL TRANSPORT

Goal. The purpose of the work is to develop a scientific and methodological approach to predicting the number of transport events and money assessment of losses from them, which will allow to determine the economic effect of

ensuring traffic safety on rail transport and evaluate their economic efficiency based on risk-oriented approach. **Method.** The effectiveness of investments is defined as the ratio of the effect of investment. For quantitative assessment of the level of train safety, this level is considered in a reverse risk level associated with the movement of trains. Therefore, the quantitative assessment of an increase in security can be defined as a decrease in the level of risk associated with the movement of trains. The level of elementary risk can be evaluated in cash as a product probability to occur an appropriate event and the losses that it may cause. The risk associated with the movement of trains may be determined based on the probability of transport events and mathematical expectations of losses from the onset of transport events. **The results.** The methodical approach to modeling the number of transport events based on the theory of reliability of technical systems has been developed, as well as approaches to determining the monetary estimates of transport events by their types. The indicated results have signs of **scientific novelty**.

Keywords: security of trains, Transport Events, Probability of the Transport Events, Risk, Cash Assessment

REFERENCES

1. Hnennyi O.M. Shevchenko V.V. (2009). Otsinka ekonomichnoi efektyvnosti zakhodiv z pidvyshchenni bezpeky rukhu poizdiv. [Evaluation of economic efficiency of measures to increase the safety of trains]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*, vol. 28, pp. 287-290.
2. Regulations on the classification of transport events on the railway transport and subway of Ukraine. The order of the Ministry of Transport of Ukraine. № 196. (2002, Mart 22). Available at: https://ips.ligazakon.net/document/view/fin3976?an=244&ed=2002_03_22. (in Ukrainian).
3. Matveevskij V.R. (2002). *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem: uchebn. posobie*. [Reliability of technical systems: tutorial. allowance]. Moscow: Moskovskij gos. in-t ehlektroniki i matematiki. [in Russian].

Стаття надійшла до редакції: 11.10.2020

Received: 2020.10.11