

УДК 614.841.332

*Грінченко Є.М., канд. техн. наук, заст. нач. каф., НУЦЗУ,  
Соколов Д.Л., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,  
Федоренко Р.М., заст. нач. НПРЧ, НУЦЗУ*

## **ОЦІНКА АВАРІЙНОГО РИЗИКУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НАФТОПРОДУКТІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ**

(представлено д-ром техн. наук Ларіним О.М.)

В роботі визначені групи подій соціо-технічної системи залізничного транспорту, що призводять до сходу і зіткнень вантажних поїздів з нафтою і нафтопродуктами і мають наслідки аварії або браку в роботі. На основі теорії Байеса запропоновано проведення визначення ймовірності виникнення цих аварійних ситуацій та оцінки аварійного ризику при перевезенні нафтопродуктів залізничним транспортом.

**Ключові слова:** залізничний транспорт, аварія, нафтопродукти

**Постановка проблеми.** Аналіз ризику аварій на небезпечних виробничих об'єктах є складовою частиною управління промисловою безпекою. Аналіз ризику полягає в систематичному використанні всієї доступної інформації для ідентифікації небезпек і оцінки ризику можливих небажаних подій [1].

Аварії на залізничному транспорті являють собою небезпечні події техногенного характеру, що призводять до загибелі людей, або створюють на об'єкті чи окремій території загрозу життю та здоров'ю людей, призводять до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу, або завдають шкоду довкіллю.

Надзвичайні ситуації, які спричиняються аваріями, являють собою порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території та можуть призвести до загибелі людей, тварин і рослин, значних матеріальних збитків [2,3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аварійний ризик є кількісною мірою безпеки в надзвичайних ситуаціях. Аналіз ризику - це дослідження, направлені на виявлення і кількісне визначення різних видів ризику при здійсненні визначених видів діяльності і господарських проектів. Оцінці ризику, яка полягає в його кількісному вимірюванні, тобто визначенні можливих наслідків реалізації визначених небезпек для навколишнього середо-

Грінченко Є.М., Соколов Д.Л., Федоренко Р.М.

вища присвячені роботи [4-6]. Питанням аналізу ризиків при аваріях вантажних потягів з нафтопродуктами з використанням апостеріорного статистичного аналізу для кількісної оцінки вірогідності їх виникнення присвячено роботу [7]. Небезпечні стани соціо-технічної системи залізничного транспорту за декілька років роботи, які приводять до сходу і зіткнень вантажних поїздів з нафтою і нафтопродуктами з іншими вантажними або пасажирськими поїздами і мають наслідки аварії або браку в роботі розглянуті в [8].

Проте оцінці аварійного ризику при перевезенні нафтопродуктів залізничним транспортом приділена недостатня увага.

**Постановка завдання та його вирішення.** Для вирішення цього питання необхідно провести визначення ймовірності виникнення аварійних ситуацій на основі теорії Байеса та оцінити аварійний ризик при перевезенні нафтопродуктів залізничним транспортом.

Розглянемо випадки виникнення аварійних подій при перевезенні нафтопродуктів залізничним транспортом. Під аварійними подіями розуміються випадки аварій, а також зіткнень і сходу рухомого складу, в якому перевозилися нафта і нафтопродукти.

На підставі статистичних даних було виділено чотири основні типи інцидентів при перевезенні нафтопродуктів на залізничному транспорті [2]. Результати представлені в таблиці 1.

**Таблиця 1 - Інциденти з цистернами, що перевозять нафтопродукти**

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2000-2010
Теча з-за дефекту котла	124	133	297	236	313	314	258	261	280	292	236	2744
Теча зливного приладу	413	302	254	221	204	224	221	245	266	182	197	2729
Теча скрізь арматуру котла	36	41	52	45	32	33	36	41	31	32	35	414
Теча скрізь нещільно зачинений люк	104	42	30	40	29	30	45	39	65	47	52	523

Всі випадки течі цистерн з нафтою або нафтопродуктами відбулися в поїздах, а так само при маневрових операціях і в своїй більшості із-за несправностей рухомого складу.

При оцінці ризику для вантажних поїздів, що перевозять нафту або нафтопродукти, приймемо наступні положення [9]:

1. Аварійні події виявляються у вигляді двох груп послідовних подій  $A_j^1$  та  $B_i$ .

2. Група первинних подій  $A_j^1$  являє собою небезпечні відмови  $j$ -го вигляду ( $j = 1, 2, \dots, J$ )  $l$ -го класу ( $l = 1, 2, \dots, L$ ) відмов об'єктів соціо-технічної системи залізничного транспорту, що є причиною сходу (зіткнень) вантажного поїзда при поїздовій роботі. Події  $A_j^1$  являють собою повну групу несумісних подій.

Іншими словами, тільки одна подія  $A^l$ , може служити причиною сходу (зіткнення) поїзда при поїздовій роботі.

$$\sum_{j=1}^J P(A_j^l) = 1. \quad (1)$$

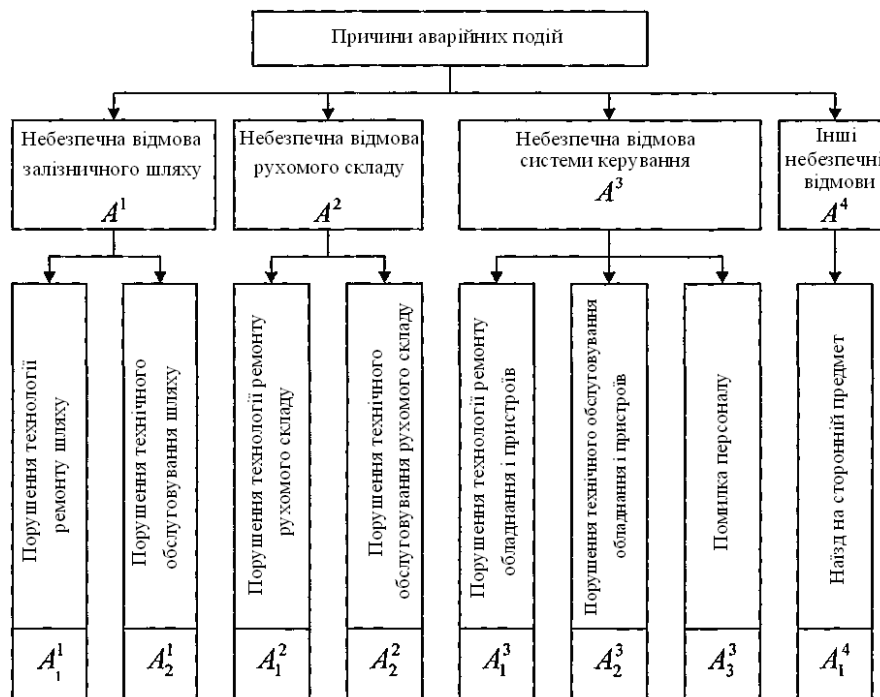


Рис. 1 - Ієрархічна структура відмов соціо-технічної системи залізничного транспорту

Причинами аварійних подій при русі вантажного поїзда є небезпечні відмови об'єктів соціо-технічної системи залізничного транспорту (СТСЗТ) (Рис. 1). Ці події породжують схід (зіткнення) поїздів, які у свою чергу класифікуються по наслідках: або аварія, або схід (зіткнення) поїзда, що не мав наслідком аварію (особливий брак в роботі) [2].

3. Друга група подій  $B_j$  є подіями, одна з яких виникає з певною вірогідністю після настання події  $A_j^l$  і виявляється як схід (зіткнення) вантажного поїзда при поїздовій роботі з  $i$ -м видом наслідків

1) катастрофа поїздів (подія -  $B_1$ );

2) аварії (подія -  $B_2$ );

3) особливі випадки браку в роботі - схід (зіткнення) поїзда без наслідків аварії (подія -  $B_3$ ).

Визначимо загально мережеву кількість аварійних подій при поїздовій роботі вантажних поїздів з нафтою і нафтопродуктами з  $i$ -м видом наслідків через  $j$ -й вид небезпечної відмови  $l$ -го класу об'єктів СТСЗТ (кількість випадків  $B_i|A_j^l$ ) за період, що аналізується ( $K$  – кількість років що аналізуються)

$$N_{B_i|A_j^l} = \sum_{k=1}^K N_k^{B_i|A_j^l}, \quad (2)$$

де  $N_{B_i|A_j^l}$  кількість аварійних подій при поїздовій роботі вантажних поїздів з нафтою і нафтопродуктами з  $i$ -м видом наслідків через  $j$ -го вид небезпечної відмови  $l$ -го класу за  $k$ -й рік.

Тоді ймовірність виникнення події  $A_j^l$  ( $j = 1, 2, \dots, J$ ), ( $l = 1, 2, \dots, L$ ) з повної групи несумісних подій

$$P(A_j^l) = \sum_{i=1}^3 N_{B_i|A_j^l} / \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^3 N_{B_i|A_j^l}. \quad (3)$$

Визначимо загальномережевий середній час поїздки вантажного поїзда з нафтою і нафтопродуктами за аналізований період

$$\bar{T} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{D_k}{Q_k \times \bar{V}_{\text{дiл.,k}}}, \quad (4)$$

де  $\bar{T}$  – середній час поїздки вантажного поїзда, годин,  $D_k$  – потяго-кілометри у вантажному русі за рік, потяго-км/рік,  $Q_k$  - число відправлених вантажних поїздів за рік, одиниці/рік,  $\bar{V}_{дін.,k}$  - загальномережева середня дільнична швидкість вантажного поїзда за рік.

Число подій  $B_i|A_j^l$  що доводяться на один вантажний потяг визначимо по формулі

$$Z(B_i|A_j^l) = N_{B_i|A_j^l} / \sum_{k=1}^K Q_k. \quad (5)$$

Тоді загальномережева інтенсивність виникнення подій  $B_i|A_j^l$ , що доводяться на одну годину поїздки поїзда, визначається по формулі

$$\lambda_{B_i|A_j^l} = Z(B_i|A_j^l) / \bar{T}. \quad (6)$$

Виходячи з припущення, що вірогідність того, що за час  $t \leq T$  ( $t$  - момент часу при русі за маршрутом,  $T$  - час руху за всім маршрутом) руху поїзда по мережі залізниць не відбудеться подія  $B_i|A_j^l$ , не залежить від передісторії функціонування залізничного транспорту, можна отримати наступні формули для розрахунку загальномережевого аварійного ризику виникнення подій  $B_i|A_j^l$

$$R(B_i|A_j^l) = 1 - \exp(-\lambda_{B_i|A_j^l} T); \quad (7)$$

$$R(B_i) = \sum_{j=1}^J P(A_j^l) \cdot R(B_i|A_j^l); \quad (8)$$

$$R(B) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^J P(A_j^l) \cdot R(B_i|A_j^l). \quad (9)$$

Вірогідність  $P(A_j^l)$  є «суб'єктивною», апріорною вірогідністю, оскільки причина сходу (зіткнень) поїздів  $A_j^l$  встановлюється

шляхом експертних оцінок в ході службового розслідування обставин аварійної події з поїздом.

Тому групу подій  $A_j^l$  можна розглядати як групу «гіпотез», які породжують події  $B_i$ . Застосовуючи теорію Байеса, на підставі теореми множення вірогідності можна отримати вірогідність

$$P(A_j^l|B_i) = P(A_j^l) \cdot P(B_i|A_j^l) / \sum_{i=1}^3 P(A_j^l) \cdot P(B_i|A_j^l). \quad (10)$$

яку можна інтерпретувати як апостеріорну (з урахуванням результатів натурального експерименту) вірогідність того, що події  $A_j^l$  породжують саме події  $B_i$ . Знайшовши максимум вірогідності  $A_j^l|B_i$  тим самим можна встановити, які події  $A_j^l$  з максимальною вірогідністю приводять до подій  $B_i$  (аварій, до сходу (зіткнень), що не мали наслідками аварію), тобто оцінити ризик виникнення аварій.

**Висновки.** Визначені чотири групи первинних подій, які можуть призвести до виникнення аварійних ситуацій при перевезенні нафтопродуктів залізничним транспортом і на їх основі побудовано ієрархічну структуру відмов соціо-технічної системи залізничного транспорту. Розроблено математичну модель оцінки ризику відмов соціо-технічної системи залізничного транспорту. На її основі запропоновані вирази для розрахунків загально мережевого ризику виникнення аварійних подій під час руху вантажного потягу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Риск, устойчивое развитие, синергетика. Управление риском. / [Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Малинецкий Г.Г. и др.]. – М., 2000. – 431 с.
2. Лисенков В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов: [Учебное пособие для вузов.] / Лисенков В.М. - М.:ВИНИТИ РАНД999. – 332 с.
3. Воробьев Ю.Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. / Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. – М.: Ин-октаво, 2005. – 368 с.

4. Хенли Э. Дж. Надежность технических систем и оценка риска. / Хенли Э. Дж., Кумамото Х. – М.: Машиностроение, 1981. – 526 с.
5. Савчук В.П. Байесовские методы статистического оценивания: Надежность технических объектов. / Савчук В.П. – М.: Наука, 1989. – 328 с.
6. Акимов В.А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. / Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
7. Надежность технических систем и техногенный риск. / [Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М и др.]. – М.: ЗАО ФИД "Деловой экспресс", 2002 – 368 с.
8. Владимиров В.А. Оценка и управление техногенной безопасностью. / Владимиров В.А., Измалков В.И., Измалков А.В. – М.: 2002. – 184 с.
9. Баранин В.Н. Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками. / Баранин В.Н. – М.: ООО «Пожнаука», 2004. – 254 с.  
nuczu.edu.ua

Гринченко Е.Н., Соколов Д.Л., Федоренко Р.Н.

#### **Оценка аварийного риска при перевозке нефтепродуктов железнодорожным транспортом**

В работе определены группы событий социо-технической системы железнодорожного транспорта, которые приводят к сходу и столкновению грузовых поездов с нефтью и нефтепродуктами и имеют последствия крушения, аварии или брака в работе. На основе теории Байеса предложено проведение определения вероятности возникновения этих аварийных ситуаций и оценки аварийного риска при перевозке нефтепродуктов железнодорожным транспортом.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, авария, нефтепродукты

Grinchenko Ye.N., Sokolov D.L., Fedorenko R.N.

#### **Assessment of risk for emergency transportation of petroleum products by rail**

In this paper we define the group's socio-technical system of rail transport, which lead to a descent and collision with a freight train oil and petroleum products, and have an impact on the crash, an accident or a marriage work. Based on the Bayesian theory to propose a definition of the likelihood of accidents and emergency assessment of risk during transportation of petroleum products by rail.

**Key words:** rail transport, accident, petroleum products