

# Безпека життєдіяльності та ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій

УДК 656.21 : 657.073.436 : 629.4

В.К. Мироненко<sup>1</sup>, М.Д. Кацман<sup>2</sup>, В.І. Мацюк<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ

<sup>2</sup>Південно-Західна залізниця, Київ

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРОЗДІЛІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ ПРИ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ З УРАХУВАННЯМ ЕКОНОМІЧНОГО АСПЕКТУ

*Запропонована математична модель економічної оцінки процесів ліквідації надзвичайної ситуації з небезпечними вантажами, що перевозяться залізничним транспортом. Модель дає можливість оцінювання економічної ефективності організації необхідних сил та засобів для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації з урахуванням використання новітніх технічних засобів моніторингу обстановки на місці надзвичайної ситуації.*

**Ключові слова:** математична модель, ліквідація надзвичайної ситуації, небезпечні вантажі, залізничні перевезення, економічна ефективність, моніторинг.

### Вступ

Залізничний транспорт перевозить значну кількість небезпечних вантажів, серед яких переважають високовартісні, наприклад, бензини, ринкова вартість яких сягає 1000 і більше євро за тону. Пропорційними вартості цих вантажів можуть бути і збитки у разі їх втрати внаслідок різноманітних надзвичайних ситуацій (НС), якими можуть супроводжуватися перевезення цих вантажів (наприклад, пожежі, вибухи, розливи, розсипання внаслідок пошкодження, втрати цілісності транспортних засобів).

Зрозуміло, що чим швидше буде прийняте та здійснене управлінське рішення щодо ліквідації наслідків НС за участю небезпечних вантажів, чим більш воно обґрунтоване, чим скоріше будуть зосереджені на місці НС для бойового застосування сили та засоби ліквідаційних підрозділів – тим ефективніше, тобто з найменшими сумарними втратами і витратами, будуть ліквідовані наслідки НС.

Очевидно, що скорочення часу зосередження та бойового застосування сил та засобів, необхідних для ліквідації НС, потребує відповідних організаційних заходів, а також технічних, матеріальних, інформаційних ресурсів, вартість яких теж необхідно враховувати, поруч із вартістю прямих збитків від втрати вантажів, а можливо й пошкодження рухомого складу та залізничної інфраструктури.

Інакше кажучи, актуальним науково-практичним завданням є створення адекватних математичних моделей процесів виникнення, розвитку та ліквідації НС за участю небезпечних вантажів, з урахуванням еко-

номічного аспекту таких НС, що дозволить підвищити ефективність бойового застосування підрозділів за їх призначенням.

### Виклад основного матеріалу

Модель розвитку та ліквідації наслідків НС може бути такою, яка була використана для подібних досліджень раніше [1], і ця модель представлена на рис. 1.

Раніше авторами було введено поняття та визначення «критичний час» [1], що використовується в цій моделі, яке тут повторимо:

«Критичний час» – це час, протягом якого відбудеться повна втрата вантажу за умови, що не буде вживатися ніяких ліквідаційних заходів згідно із регламентами (алгоритмами дій), встановленими відповідно до чинних нормативних документів [2 – 9] або результатів досліджень [1, 10 – 15]

Введемо наступні позначення параметрів часу, що використовуються в моделі:

$t_{кр}$  – розрахунковий момент закінчення «критичного часу»  $t_{кр}$ , коли вантаж може бути повністю втрачено (у прийнятій в моделі системі координат  $t_{кр} = \tau_{кр}$ );

$\tau_0$  – тривалість часу від виникнення НС до прийняття рішення про відправлення сил та засобів ліквідації НС з місця їх дислокації до місця виникнення НС (зрозуміло, що рішення може бути прийняте після отримання необхідної достовірної інформації про характер та масштаби НС);

$\tau_{рух}$  – тривалість руху сил та засобів ліквідації НС з місця їх дислокації до місця виникнення НС (визначається як  $\tau_{рух} = L/V$ , де  $L$  – відстань від місця постійної дислокації сил та засобів ліквідації НС, наприклад пожежного поїзда, до місця виник-

нення та ліквідації НС, км;  $V$  – середня швидкість руху поїзда, км/год.);

$\tau_{рзв}$  – тривалість розвідки та оцінки обстановки на місці з метою прийняття уточненого рішення щодо порядку ліквідації НС;

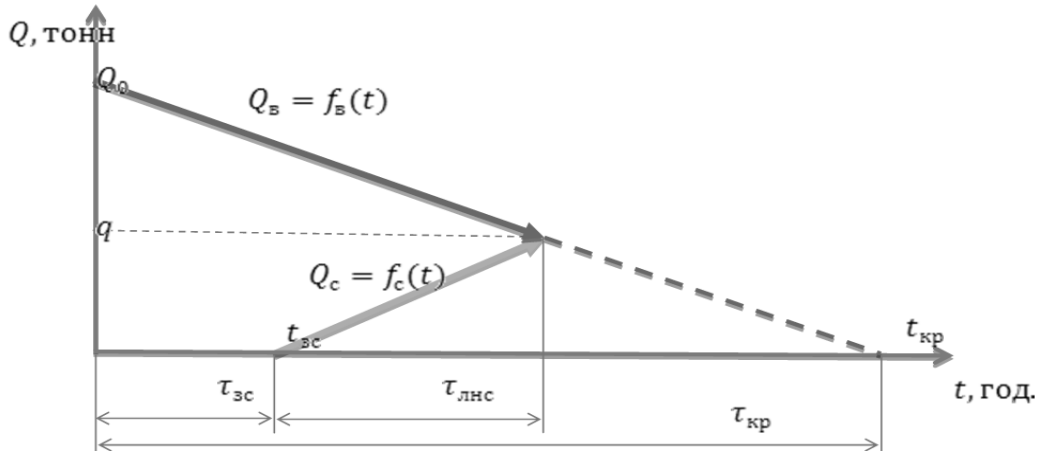


Рис. 1. Графоаналітична модель розвитку надзвичайної ситуації, при якій відбувається втрата вантажу та вживаються заходи щодо її ліквідації

$\tau_{лнс}$  – тривалість ліквідації НС;

$\tau_д = \tau_0 + \tau_{рзв}$  – «додатковий час», на величину якого збільшується тривалість зосередження сил та засобів, порівняно з чистим часом руху до місця НС ( $\tau_{рух} = \frac{L}{V}$ ), якого було б достатньо для зосередження, якби інформація про НС була би отримана відразу ж після її настання, а оцінка обстановки на місці НС була точної та достовірною і не потребувала додаткової розвідки; інакше кажучи, час зосередження  $\tau_д$  дорівнює:

$$\tau_д = \tau_{рух} + \tau_0 + \tau_{рзв} = \frac{L}{V} + \tau_д.$$

Параметри, що характеризують в моделі динаміку кількості вантажу, наступні:

$Q_0$  – вихідна кількість вантажу в момент настання НС, яка піддається дії небезпечних факторів НС (розсипання, розливання, дія пожежі, вибухова хвиля, випаровування, втрати вантажу внаслідок фізичної та хімічної взаємодії з повітрям, водою, ґрунтом, лугами, кислотами, металами тощо);

$q$  – кількість вантажу, що залишилася в момент закінчення зосередження сил та засобів на місці НС ( $t_{зс}$ ) та початку її ліквідації.

Введемо наступні економічні параметри оцінки процесів ліквідації НС:

$c_{пр}$  – собівартість поїздо-години пожежно-рятувального (відновного) поїзда в русі, грн./ поїздо-год.;

$c_{пкм}$  – собівартість пробігу пожежно-рятувального (відновного) поїзда, грн./ поїздо-км;

$c_{пр}$  – вартість вантажу (прямі збитки від втрати вантажу), грн./т;

$c_{вм}$  – вартість витратних матеріалів, необхідних для ліквідації НС (наприклад, води чи піни для гасіння пожежі), грн./т;

$\alpha$  – співвідношення маси необхідної кількості витратних матеріалів для ліквідації НС, у розрахунку на одиницю маси вантажу.

Сформулюємо умову

$$c_{вм} \alpha < c_{пр}, \quad (1)$$

яка означає, що при вартості витратних матеріалів, необхідних для ліквідації НС, що дорівнює чи більша від вартості самого вантажу, немає економічного сенсу вживати заходів щодо збереження вантажу (наприклад, витратити велику кількість води чи піни для гасіння пожежі невеликої кількості вантажу).

Крім того, повинна виконуватися умова

$$\frac{L}{V} + \tau_д < t_{кр}, \quad (2)$$

яка означає, що час зосередження сил та засобів ліквідації НС повинен бути менше «критичного часу».

Зрозуміло також, що ліквідація НС повинна завершитися до закінчення «критичного часу», тому

$$\tau_{лнс} < t_{кр}, \quad (3)$$

З урахуванням цих трьох умов, а також отриманих раніше залежностей [1] матимемо аналітичний вираз для визначення сумарних витрат на ліквідацію НС, який є коректним як з математичної, так і економічної точок зору:

$$W = W_1 + W_2 = \left[ \left( \frac{2L}{V} + \tau_d \right) c_{пр} + 2Lc_{пкм} \right] + Q_0 \left[ \left( \frac{L}{V} + \tau_d + \frac{\tau_{кр} - \frac{L}{V} - \tau_d}{t_{кр} - \tau_{лнс}} t_{кр} \right) \frac{c_{пр} - c_{вм} \alpha}{t_{кр}} + c_{вм} \alpha \right], \quad (4)$$

де  $W_1 = \left[ \left( \frac{2L}{V} + \tau_d \right) c_{пр} + 2Lc_{пкм} \right], \quad (5)$

– витрати, пов’язані з рухом поїзда до місця НС та назад і знаходженням на місці НС;

$$W_2 = Q_0 \left[ \left( \frac{L}{V} + \tau_d + \frac{\tau_{кр} - \frac{L}{V} - \tau_d}{t_{кр} - \tau_{лнс}} t_{кр} \right) \frac{c_{пр} - c_{вм} \alpha}{t_{кр}} + c_{вм} \alpha \right], \quad (6)$$

– витрати, пов’язані з ліквідацією наслідків НС, безпосередньо на місці, де вона відбулася.

Проаналізуємо отримані залежності, використовуючи формули (4), (5) та (6). Це зроблено за допомогою табл. 1 (при розрахунках в табл. 1 прийняті фіксовані значення  $c_{пр} = 12000$  грн./поїздо-год. та  $c_{пкм} = 200$  грн./поїздо-км, оскільки їх вплив на кінцевий результат розрахунку витрат  $W_1$  по складових

є очевидним – лінійним, прямо пропорційним). Однозначним є також вплив на сумарні витрати величини тривалості ліквідації НС, яка при розрахунках у табл. 1 прийнята  $\tau_{лнс} = 1$  год. А саме, чим більшим є значення  $\tau_{лнс}$  – тим більшими є й витрати  $W$  та  $W_2$ , що очевидно з формул (4) та (6).

Втім, величина  $\tau_{лнс}$  є надто важливою та визначальною для сумарних витрат, пов’язаних з ліквідацією НС, тому до її розгляду повернемося пізніше (будемо розглядати також значення 0,5, 1,5 та 2,5 год.).

Натомість неочевидними, можливо нелінійними, є залежності витрат  $W_2$  від параметрів  $L$  та  $t_{кр}$ . Ці залежності було досліджено окремо, за допомогою «робочих» таблиць, що тут не наводяться, в яких змінювалися параметри  $L$  (перебиралися значення 100, 150 та 200 км) та  $t_{кр}$  (значення 8, 10, 12 та 14 год.), а решта параметрів мали ті ж значення, що й у табл. 1. Результати аналізу розрахунків наведені далі.

Результати розрахунків подані на рис. 2 та 3 (графіки побудовані на підставі даних, виділених шрифтом у табл. 1). Аналіз результатів, наведених у таблиці та на рисунках, є підставою для висновків та пропозицій, що наведені нижче.

Таблиця 1

Сумарні витрати (тис. грн.) на ліквідацію наслідків НС,  $W = W_1 + W_2$ , при значенні «критичного часу»  $t_{кр} 10$  год.

L, км	V, км/год.	c <sub>пр</sub> , грн./т	c <sub>вм</sub> α, грн./т	τ <sub>д</sub> , год.					
				0,5	1	1,5	2	2,5	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100	40	22000	2200	590	640	690	740	790	840
			8800	795	831	866	901	937	972
			15400	1001	1021	1042	1063	1083	1104
		44000	2200	1006	1104	1203	1302	1401	1500
			8800	1211	1295	1379	1464	1548	1632
			15400	1416	1486	1555	1625	1694	1764
		66000	2200	1421	1569	1717	1864	2012	2160
			8800	1626	1760	1893	2026	2159	2292
			15400	1832	1950	2069	2187	2306	2424
	55	22000	2200	1211	1359	1507	1655	1803	1950
			8800	1437	1570	1703	1836	1969	2102
			15400	1662	1781	1899	2017	2136	2254
		<b>44000</b>	<b>2200</b>	<b>863</b>	<b>961</b>	<b>1060</b>	<b>1159</b>	<b>1258</b>	<b>1357</b>
			<b>8800</b>	<b>1088</b>	<b>1172</b>	<b>1256</b>	<b>1341</b>	<b>1425</b>	<b>1509</b>
			<b>15400</b>	<b>1313</b>	<b>1383</b>	<b>1452</b>	<b>1522</b>	<b>1591</b>	<b>1661</b>
		66000	2200	1211	1359	1507	1655	1803	1950
			8800	1437	1570	1703	1836	1969	2102
			15400	1662	1781	1899	2017	2136	2254
	70	22000	2200	470	520	570	620	670	720
			8800	707	742	777	813	848	883
			15400	944	964	985	1006	1026	1047
		44000	2200	781	880	979	1077	1176	1275
			8800	1018	1102	1186	1270	1354	1439
			15400	1254	1324	1393	1463	1533	1602
66000		2200	1092	1239	1387	1535	1683	1830	
		8800	1328	1461	1595	1728	1861	1994	
		15400	1565	1684	1802	1920	2039	2157	

## Висновки

Суттєвий вплив на сумарні витрати, пов'язані з ліквідацією наслідків надзвичайних ситуацій (НС), має «додатковий час»  $\tau_d$ , на величину якого збільшується тривалість зосередження та бойового засто-

сування сил та засобів, порівняно з чистим часом руху до місця НС, якого було б достатньо для зосередження, якби інформація про НС була би отримана відразу ж після її настання, а оцінка обстановки на місці НС була точної та достовірною і не потребувала додаткової розвідки.

**Залежність сумарних витрат на ліквідацію наслідків НС від різних факторів**

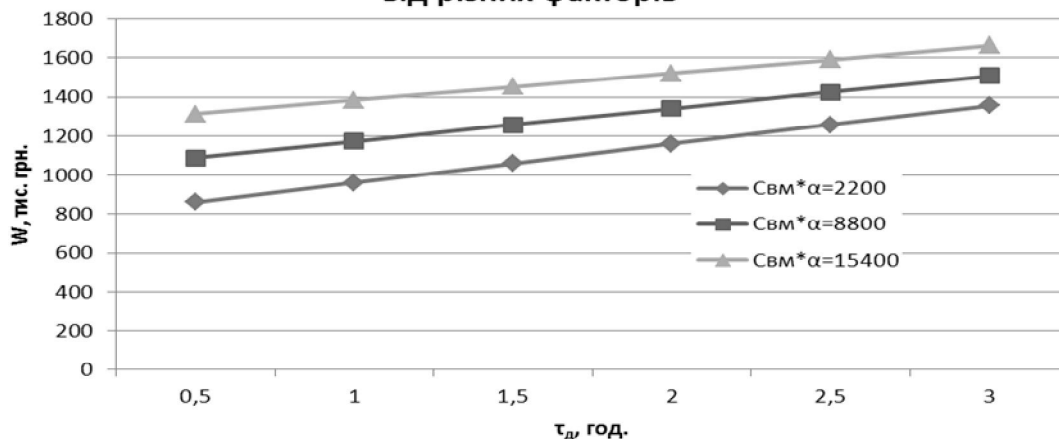


Рис. 2. Сумарні витрати на ліквідацію наслідків НС в залежності від «додаткового часу»  $\tau_d$ , при  $t_{кр} = 10$  год.;  $c_{пр} = 44000$  грн./т;  $\tau_{лнс} = 1$  год.;  $L=100$  км;  $V=55$  км/год. та різних значеннях  $c_{vm} \cdot \alpha$ , грн./т

**Залежність сумарних витрат на ліквідацію наслідків НС від різних факторів**

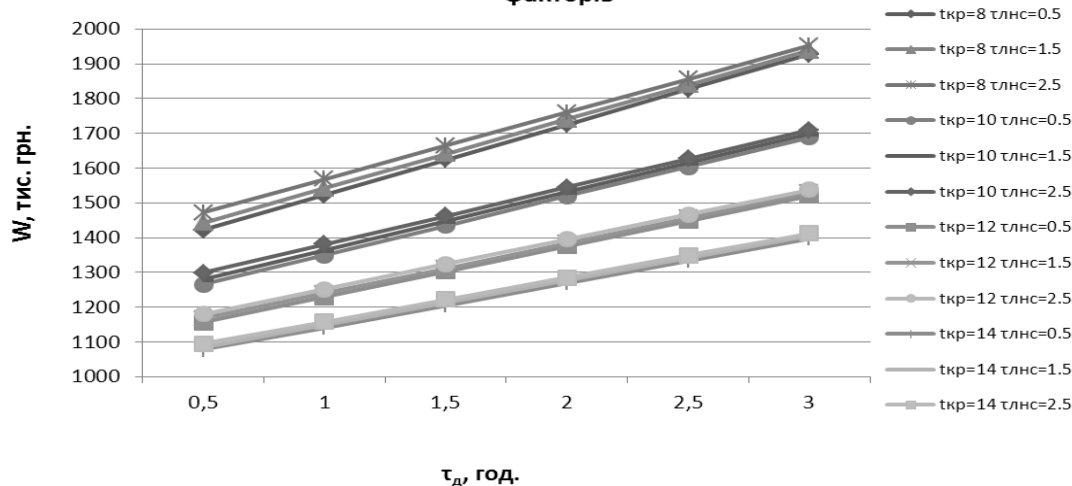


Рис. 3. Сумарні витрати на ліквідацію наслідків НС в залежності від «додаткового часу»  $\tau_d$  при  $c_{пр} = 44000$  грн./т,  $\tau_{лнс} = 1$  год.,  $L=100$  км,  $V=55$  км/год. та різних значеннях  $t_{кр}$  і  $\tau_{лнс}$

Запропоновані математичні моделі дозволяють визначити сумарні витрати, пов'язані з ліквідацією наслідків надзвичайних ситуацій, при будь-якому сполученні факторів, що на них впливають і можуть стати основою для побудови відповідної експертної системи у складі інтелектуальної СППР.

Розрахунки на основі запропонованих математичних моделей показують, що у середньому кожна зайва година «додаткового часу» збільшує сумарні витра-

ти на 200 тис. грн. (для таких вантажів як бензин).

Ефективним засобом скорочення згаданого «додаткового часу» може стати застосування різноманітних БПЛА для оцінювання ситуації, що склалася на місці екологічно небезпечної транспортної події, для отримання достовірної інформації та зменшення ситуаційної невизначеності.

Враховуючи порівняно невисоку вартість БПЛА (до 1000 дол. США за одиницю), їх застосу-

вання дасть великий прямий економічний ефект, а також значні зовнішні ефекти, пов'язані із зменшенням шкоди довкіллю і можливістю постійного моніторингу маршрутів перевезень небезпечних та інших цінних вантажів.

### Список літератури

1. Мироненко В.К. Логіко-математична концептуальна модель ліквідації наслідків надзвичайної ситуації при залізничних перевезеннях небезпечних вантажів / В.К. Мироненко, М.Д. Кацман, В.І. Мацюк // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – № 3. – С. 3-14.
2. Положення про функціональну підсистему «Сили і засоби реагування на надзвичайні ситуації на залізничному транспорті Міністерства транспорту та зв'язку України щодо запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру». Наказ МТЗУ від 08.12.2008 № 1486. – К., 2008. – 36 с.
3. Інструкція з організації відбудовних робіт при ліквідації наслідків транспортних подій на залізницях України. Наказ МТЗУ від 27.04.2001 №258. – К., 2001. – 21 с.
4. Положення про відновний поїзд залізниць України. Наказ Укрзалізниці від 07.12.2011 № 641 – Ц, ЦРБ-0035. – К., 2011. – 107 с.
5. Інструкція про порядок відбудови пошкодженої контактної мережі електрифікованих залізниць. Наказ Укрзалізниці від 20.12.2006 № 587Ц. – К., 2012. – 10 с.
6. Положення про пожежні поїзди на залізницях України. НАПБ 02.13-2006. Наказ Укрзалізниці від 01.01.2006 № 039-Ц. – К., 2006. – 27 с.
7. Положення про систему управління безпекою руху поїздів в Державній адміністрації залізничного транспорту України. Наказ МТЗУ від 14.09.2004. № 818. – К., 2004. – 38 с.
8. Положення про ремонтно-будівельні лєтючки зв'язку на залізничному транспорті України. Наказ Укрзалізниці від 09.08.1997 № 23-ЦЗ. – К., 1997. – 12 с.
9. Правила безпеки та порядок ліквідації наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами при перевезенні їх залізничним транспортом. Наказ МТЗУ від 25.11.2008. № 1431. – К., 2008. – 753 с.
10. Методичні рекомендації щодо визначення нормативів часу на проведення аварійно-відновлюваних робіт

із використання основних технічних засобів відбудовних поїздів залізниць України.

11. Кацман М.Д. Оцінювання і прогнозування надзвичайних ситуацій на транспорті / М.Д. Кацман, В.К. Мироненко, О.Г. Родкевич, О.Г. Стрелко // Мат-ли IV Міжнар. наук.-пр. конф. «Безпека життєдіяльності людини як умова сталого розвитку сучасного суспільства». – К.: МАБЖД, Академія муніципального управління, 2011. – С. 300-302.

12. Родкевич О.Г. Застосування стохастичних мережних моделей ситуацій, пов'язаних з перевезенням небезпечних вантажів / О.Г. Родкевич, В.К. Мироненко, М.Д. Кацман // Мат-ли III Міжнар. нау.-пр. конф. «Маркетинг і логістика в системах менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті». – Х., 2012. – С. 132-134.

13. Кацман М.Д. Аналіз впливу на екологічний стан довкілля основних властивостей небезпечних вантажів, що перевозяться залізничним транспортом / М.Д. Кацман, М.І. Адаменко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 5 (103). – С. 158-164.

14. Аналіз рекомендованих дій підрозділів залізниці у разі витоків, розливів та розсипів небезпечних вантажів при їх перевезенні залізничним транспортом / М. Кацман, В. Мироненко, М. Адаменко, М. Горбаха // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства інфраструктури України: Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2012. – Вип. 21. – С. 152-159.

15. Katsman M.D. Probabilistic model of ecological consequences of railroad accidents / M.D. Katsman, V.K. Myronenko, M.I. Adamenko // Reliability: theory & applications. – San Diego, USA, 2013. – Vol. 8, №. 1 (28). – P. 72-85.

16. Katsman M.D. Mathematic models of ecologically hazardous rail traffic accidents / M.D. Katsman, V.K. Myronenko, V.I. Matsiuk // Reliability: theory & applications. – San Diego, USA, 2015. – Vol. 10, №1 (36). – P. 28-39.

Надійшла до редколегії 14.04.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків.

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ С УЧЕТОМ ЭКОНОМИЧЕСКОГО АСПЕКТА

В.К. Мироненко, М.Д. Кацман, В.І. Мацюк

Предложена математическая модель экономической оценки процессов ликвидации чрезвычайной ситуации с опасными грузами, перевозимыми железнодорожным транспортом. Модель позволяет оценивать экономическую эффективность организации необходимых сил и средств для ликвидации последствий чрезвычайной ситуации на основе использования современных технических средств мониторинга обстановки на месте чрезвычайной ситуации.

**Ключевые слова:** математическая модель, ликвидация чрезвычайной ситуации, опасные грузы, железнодорожные перевозки, экономическая эффективность, мониторинг.

### INCREASE OF EFFICIENCY OF BATTLE APPLICATION OF SUBDIVISIONS OF LIQUIDATION OF CONSEQUENCES OF EXTRAORDINARY SITUATION AT RAILWAY TRANSPORTATIONS OF DANGEROUS LOADS TAKING INTO ACCOUNT AN ECONOMIC ASPECT

V.K. Mironenko, M.D. Kacman, V.I. Masyuk

A mathematical model for economic evaluation of emergency response processes involving dangerous goods transported by rail. The model allows evaluating the cost-effectiveness of organizing the necessary manpower and resources for emergency response through the use of modern means of monitoring the situation on the ground of an emergency.

**Keywords:** mathematical model, emergency response, dangerous goods, rail, cost-effectiveness, monitoring.