21. **Тюпін В.М.** Вибухові та геомеханічні процеси в тріщинуватих напружених гірських масивах. - БДУ, 2017. 192 с.
22. **Zharikov S. N.** Drilling and blasting resource-saving technology development. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal. 2019; 1: 21–32.
23. **Моркун В.С., Цокуренко О.О., Луценко І.А.** Адаптивні системи оптимального керування технологічними процесами. - Кривий Ріг: Мінерал, 2005. - 261 с.
24. **Khoshouei, M., and Bagherpour, R.** (2019): Application of Acoustic Emission (AE) in mining and earth sciences: a review. Rudarsko-geološko-naftni zbornik (The Mining Geological-Petroleum Engineering Bulletin), 34,4, 19-32.
25. **Hopwood, T., and McGogney, C.** (1987): Acoustic emission applications in civil engineering, Nondestructive testing handbook, College of Engineering University of Kentucky Lexington, Kentucky, 325-345.
26. **Mehrbod Khoshouei, Raheb Bagherpour, Mohammad Hossein Jalalian, Mojtaba Yari.** Investigating the acoustic signs of different rok types based on the values of acoustic signal RMS. - Rudarsko-geološko-naftni zbornik (The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin), 2020, pp. 29-38. DOI: 10.17794/rgn.2020.3.3
27. **Zborovjan M.**: Identification of minerals during drilling process via acoustic signal. Metallurgy and foundry 4/2001, Vol. 26. Krakow, Poland, 2001.
28. **Li, Z.; Lei, Y.; Wang, E.; Frid, V.; Li, D.; Liu, X.; Ren, X.** Characteristics of Electromagnetic Radiation and the Acoustic Emission Response of Multi-Scale Rock-like Material Failure and Their Application. *Foundations* 2022, *2*, 763-780. https://doi.org/10.3390/foundations2030052.
29. **Bastari, A., Cristalli, C., Morlacchi, R., and Pomponi, E.**(2011): Acoustic emissions for particle sizing of powdersthrough signal processing techniques. Mechanical Systems and Signal Processing, 25,3, 901-916.
30. **Yamaguchi, T. J., Soma, M., Ishida, M., Watanabe, T. Ohmi, T.** (2000). Extraction of peak-to-peak and RMS sinusoidal jitter using an analytic signal method: 18th IEEE VLSI Test Symposium, 395-402.
31. **Моркун В. С., Моркун Н. В., Тронь В. В., Гапоненко А. А., Гапоненко І. А., Паранюк Д. І.** Методи оптимізації процесу буріння свердловин, – Кривий Ріг: Гірничий вісник. 2020. Вип. 107. С. 96-101.
32. **A. M. Noll.** Cepstrum pitch determination. Journal of the Acoustical society of America , 41:293-309, 1967.
33. **A.V. Oppenheim, R.W. Schafer**. Digital signal processing. Prentice-Hall, 1975.
34. **Гулай, А. В., Зайцев, В. М.** Інтелектуальна технологія кепстрального аналізу коливальних процесів. – БНТУ, 2020, 80-88 с.

Рукопис подано до редакції 18.03.2023

УДК 331.56; 656.13

В.А. ЦОПА, д-р техн. наук, проф., Міжнародний інститут менеджменту, Київ
С.І. ЧЕБЕРЯЧКО, д-р техн. наук, проф., О.В. ДЕРЮГІН, канд. техн. наук, доц.,
НТУ «Дніпровська політехніка»
О.В. ПИЩИКОВА, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ РИЗИКУ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНОЇ ПРИГОДИ ПРИ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

Мета. Розробка методу для оцінки ризиків дорожньо-транспортної пригоди при виконанні автомобільних перевезень.

Методи дослідження. Використано методом "Краватка-Метелик", який дозволяє врахувати на появу небезпечної події всі зовнішні та внутрішні небезпечні (безпечні) чинники, які можуть як збільшити, так і зменшити вірогідність небезпечної події. Для ранжування небезпечних чинників застосовано метод "Decision Making Trial and Evaluation" (далі - Dematel), який базується на парних інструментах порівняння та прийняття рішень на основі теорії графів.

Наукова новизна. Запропоновано механізм для визначення найвпливовіших небезпечних чинників, який встановлюється за умови, що рівень впливу небезпечного чинника, який отримується виходячи з розрахунку матриці кінцевого впливу методом Dematel є більшим за 20 % встановленого максимального значення.

Практична значимість. Запропоновано восьми кроковий алгоритм з розрахунку ризику настання дорожньо-транспортної пригоди.

Результати. Розроблений реєстр небезпечних чинників, які включають шість типів факторів: людський, організаційний, технічний, операційний, соціальний, ергономічний та збільшують вірогідність настання небезпечної події дорожньо-транспортної пригоди. Запропоновано алгоритм для оцінки професійних ризиків водіїв автомобіля, який складається з восьми основних кроків, перші три присвячені процедурі ідентифікації небезпек, небезпечних чинників та ранжуванню останніх для виявлення чинників, які є причинами настання небезпечної події й тих, які будуть наслідками перших. Проведено оцінку професійних ризиків водія автомобіля, в якій виявлено, що основними небезпечними чинниками, які впливають на настання дорожньої пригоди є брак навичок розуміння системи та навичок прийняття рішення, недбалість дотримання перевірок безпеки на різних етапах роботи маніпулятора, відсутність ефективного контролю за безпекою праці та відсутність належного передрейсового медичного контролю стану здоров'я водія, усунення яких значно зменшить рівень ризику під час перевезення.

Ключові слова: водій, безпека, професійний ризик, метод DEMATEL

© Цопа В.А., Чеберячко С.І., Дерюгін О.В., Пищикова О.В., 2023

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Безпека дорожнього руху - це доволі складна багаторівнева задача, яка нажаль, не має простого вирішення. Щороку в Європі більше мільйона людей потрапляють у дорожньо-транспортні пригоди (далі - ДТП), більша половина з них – це аварії з виробничим вантажним автомобільним транспортом [1]. Така ситуація вимагає розробки відповідних безпекових програм для зменшення фінансових збитків та збереження життя та здоров'я водіїв. Основою є оцінка ризиків для обґрунтування відповідного інструментарію з підвищення рівня безпеки. Зокрема, традиційних кваліфікації учасників дорожнього руху, покращення стану транспортних засобів, забезпечення відповідного контролю за виконанням правил дорожнього руху (перерв, заборони на розмови по телефону, розкладу та інше). Однак на процес оцінки ризиків, доволі сильно впливає суб'єктивна думка експерта [2]. Когорта різних когнітивних упереджень доволі часто призводить до невірних оцінок – нехтування очевидними фактами. В той же час опрацювання великої кількості небезпечних чинників (далі - НЧ) призводить до значного збільшення розмірів карт професійних ризиків (далі - ПР), складності їх розуміння і читання, а головне виділення найбільш суттєвих причин інцидентів. Тому дослідження, які направлені на вдосконалення даної процедури, зменшенню впливу суб'єктивних факторів є досить актуальними завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. Проведений аналіз свідчить про те, що дослідження питань, пов'язаних із особливостями оцінки ризиків в системах управління безпекою праці та здоров'я працівників дістала відображення в порівняно невеликій кількості наукових праць і в основному присвячена узагальненим поняттям ризику. Можна виділити таких науковців, як О.І. Запорожець, О.Є. Кружилко, В.В. Майстренко, О.І. Полукаров, А.О. Водяник, К.Н. Ткачук, А.П. Бочковський, М. Муртонен та ін. Для оцінки ризиків використовуються різні методики та математичні методи.

Існує значна кількість наукових досліджень, які направлені на визначення впливу суб'єктивного ставлення щодо оцінки ПР [3-8]. На початковому етапі, найбільший інтерес був проявлений до визначення міжкультурних відмінностей у сприйнятті ризикованих видів професійної діяльності, які становлять загрозу здоров'ю та безпеці, що викликано процесами глобалізації [3, 4]. Це пов'язано з тим, що люди по-різному сприймають ПР через власний досвід, освіту, переконання, ставлення колег та культуру [5, 6]. В свою чергу, для забезпечення безпеки та формування відповідної культури праці необхідно виявити залежності між сприйняттям ПР працівниками та причинно-наслідковим зв'язком виникнення небезпеки, варіантами розвитку небезпечних подій (далі - НП), які відображаються на індивідуальному та культурному рівнях [7, 8]. Також дослідники наголошують на необхідності врахування різних соціальних та інституційних факторів на оцінку ПР, які в кінцевому підсумку поєднуються людськими судженнями стосовно ймовірності виникнення небезпечних ситуацій [9, 10].

Класичною з позиції оцінювання факторів ризику ДТП є Матриця Хеддона [17], в якій критеріями оцінювання вибрано 3 фази ДТП (до, в процесі та після ДТП) і фактори, що пливають на виникнення ДТП (індивідуальні характеристики людини як учасника дорожнього руху, характеристики транспортного засобу, а також характеристики впливу навколишнього середовища на виникнення ДТП). Матриця Хеддона дозволяє систематизувати фактори ризику та заходи щодо їх обмеження в залежності від фази ДТП, але не враховує цілу низку небезпечних чинників, які можуть призвести до небезпечної події.

Результати проведеного аналізу показують необхідність у розробці чи вдосконалені процесу ідентифікації НЧ, які збільшують вірогідність настання НП для зменшення суб'єктивності проведення процедури керування ПР при здійсненні вантажних автомобільних перевезень.

Постановка завдання. Метою даного дослідження є розробка методу для оцінки ПР виникнення ДТП при здійсненні вантажних автомобільних перевезень.

Викладання матеріалу і результати. Для побудови процесу керування ризиками в системах управління безпекою праці та здоров'я працівників, скористаємось моделлю "Краватка-Метелик", яка дозволяє врахувати на появу НП всі зовнішні та внутрішні небезпечні (безпечні) чинники, які можуть як збільшити, так і зменшити вірогідність НП під час автомобільних перевезень (рис. 1).

Вибір даної моделі зумовлений також, можливістю оцінки сукупного впливу небезпечних чинників від різних систем діяльності підприємства на настання НП як добутку між сумарним коефіцієнтом важкості наслідків НП та сумарним коефіцієнтом ймовірності виникнення НП

[11]. При цьому враховується, що величина ризику більше 100 балів є не прийнятною, від 50 до 100 балів - прийнятна з наглядом, й менше 50 балів - прийнятна. Внаслідок цього даний підхід забезпечує зменшення невизначеності при розрахунку ризику; підвищення обґрунтованості запобіжних заходів для зменшення ймовірності настання НП; підвищення результативності процесу керування ризиками за рахунок всебічного розгляду всіх небезпечних зовнішніх і внутрішніх чинників чи небезпечних дій.

Рис.1. Модель керування ПР при зміні чинників зовнішнього та внутрішнього середовища організації

Для визначення професійних ризиків використано алгоритм з восьми кроків (рис. 2) в якому передбачено перші три саме для ідентифікації небезпек і небезпечних чинників, які можуть підвищити вірогідність настання НП. При цьому, для аналізу останніх створюється каталог з шести типів факторів: людського, організаційного, технічного, операційного, ергономічного, соціального, який аналізується для встановлення причинних небезпечних чинників і їх похідних – наслідків, що дозволить більш досконало дослідити вплив перших на виникнення НП.

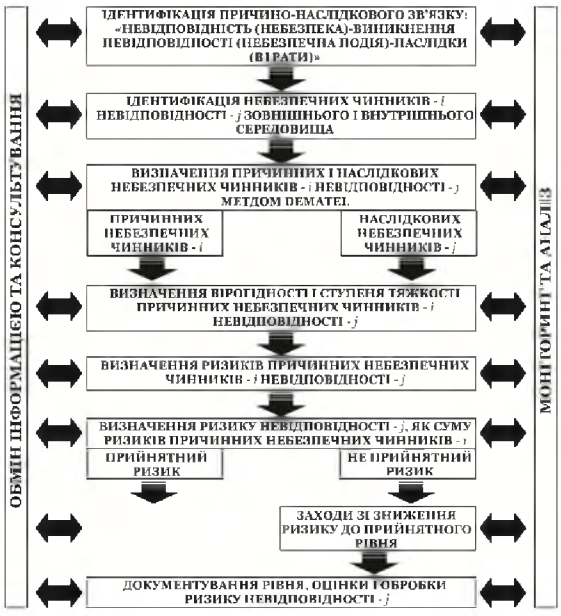

Рис. 2. Процес керування ПР

Дану процедуру будуть проводити декілька визнаних експертів, які представляють керівництво, менеджмент, працівників, не менше 5 осіб. Для опрацювання взаємодії небезпечних чинників скористаємось методом Dematel, який базується на парних інструментах порівняння та прийняття рішень на основі теорії графів [12,13], що дозволить провести перетворення причинно-наслідкових зав'язків у структурно-візуальних моделях та ідентифікувати й зрозуміти взаємозалежності між різними небезпечними чинниками, що призведуть до негативних наслідків. Взаємозв'язки між факторами впливу проводиться на основі парного порівняння. Для оцінки ступіню впливу використовувався критерій із п'ятирівневою шкалою, що складається зі словесних виразів і відповідних нечітких чисел (табл. 1).

Так, враховуючи, взаємозв'язки між різними НЧ, які збільшують вірогідність настання НП за допомогою методу Dematel можна провести їх ранжування для встановлення їх взаємозалежності і виявлення найбільш впливових. Взаємозв'язки між факторами впливу проводиться на основі парного порівняння.

Таблиця 1

Словесні фрази та відповідні нечіткі числа [13]

Остаточний еквівалент	Опис	Нечіткий еквівалент		
Дуже високий вплив (ВВ)	0	0,75	1	1
Високий вплив (В)	1	0,5	0,75	1
Низький вплив (Н)	2	0,25	0,5	0,75
Дуже низький вплив (ДНВ)	3	0	0,25	0,5
Ніякого впливу (НВ)	4	0	0	0,25

Матриця $n \times n$ оцінки факторів впливу, формується відповідно до думок експертів. Змінна H – кількість експертів; n – кількість розглянутих критеріїв. Порівняння між двома факторами впливу i і j k-м експертом позначається відповідно до теорії нечіткості (табл. 1), значення словесного виразу «ніякого впливу» дорівнює - 0. Відповідно словесні вирази: «дуже низький вплив» - 1, «низький вплив» - 2, «високий вплив» - 3, а «дуже високий вплив» - 4. На підставі виставлених оцінок факторів впливу, кожним експертом формується матриця за допомогою рівняння (1)

$$\left(1 \le k \le H\right) B^{(k)} = \left[b_{ij}^{k} \right]_{n \times n}. \tag{1}$$

Середня матриця $A = \left[a_{ij} \right]_{n \times n}$ є прямий вплив, матрицю та середнє значення експертних оцінок можна розрахувати згідно з рівнянням (2). Ця матриця представляє прямий вплив кожного критерію на інші критерії

$$a_{ij} = \frac{1}{H} \sum\nolimits_{K=1}^{H} b_{ij}^{(k)}. \tag{2}$$

Матрицю D можна розрахувати за рівняннями (3) і (4)

$$D = \left[d_{ij} \right]_{n \times n} = \frac{A}{S}; \tag{3}$$

$$S = \left(\max\nolimits_{1 << 1 << n} \sum_{j=1}^{n} a_{ij},\ \max\nolimits_{1 << j << n} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} \right). \tag{4}$$

Матрицю T_c можна розрахувати згідно з рівнянням (5).

У цьому рівнянні I є одиничною матрицею. Кожен елемент матриці T_c може бути сформований відносно нечіткого числа $\overline{\tau}_{ij} = \left(l_{ij}^{t}, m_{ij}^{t}, u_{ij}^{t} \right)$. Враховуючи рівняння (5)-(8)

$$T_C = D\left(I - D\right)^{-1}; \tag{5}$$

$$\left[l_{ij}^{t} \right] = D_1 \left(I - D\right)^{-1}; \tag{6}$$

$$\left[m_{ij}^{t} \right] = D_m \left(I - D_m\right)^{-1}; \tag{7}$$

$$\left[u_{ij}^{t} \right] = D_u \left(I - D_u\right)^{-1}. \tag{8}$$

де D_1, D_m, D_u – кожна є матрицею $n \times n$.

Щоб визначити ефект і релевантність критеріїв, спочатку матриця T_c повинна бути нечіткою. Щоб не було нечітких матриці T_c буде використано рівняння (9).

Визначаємо дію та релевантність критеріїв за допомогою значення r і c. Значення рівнянь (10) і (11) можна розрахувати

$$B = \frac{l_1 + m_3 + 2u_2}{4}; \tag{9}$$

$$r = \left[r_i \right]_{n \times 1} = \left[\sum\nolimits_{j=1}^{n} t_{ij} \right]_{n \times 1}; \tag{10}$$

$$c = \left[c_j \right]_{n \times 1} = \left[\sum\nolimits_{i=1}^{n} t_{ij} \right]_{n \times 1}, \tag{11}$$

де r - сума рядка i, c - сума стовпця j матриці T_c., r показує загальний ефект прямого і непрямого впливу i на інші критерії, с показує прямий і непрямий загальний вплив фактору j на інші фактори.

У результаті $r + c$ вказує на важливість критерію i в системі, $r - c$ показує дію критерію i в системі. Якщо $r - c$ додатне, дія критерію і належить до групи причин, а якщо $r - c$ від'ємне, ефект критерію, який належить до групи «залежних».

Наступним кроком процедури оцінки ПР є визначення його рівня як суму добутку вірогідності НП (B) і тяжкості наслідків (T) від усіх попередньо встановлених найбільш впливових НЧ

$$Ризик = \sum (B_i \times T_i), \tag{12}$$

де P - ризик НП від небезпеки з урахуванням НЧ - i; B_i – вірогідність настання НП від небезпеки під впливом НЧ - i, який впливає на вірогідність настання НП; T_i - ступень тяжкості наслідків від НП від небезпеки під впливом НЧ - i, який впливає на ступень тяжкості стану здоров'я травмованого від НП.

У випадку отримання від'ємних значень, рівень ПР приймається рівним нулю і вважається низьким. Градації рівнів впливу означених величин приводяться в таблицях 2-4.

Таблиця 2

Приклад форми для первинної оцінки ПР від НЧ

Ідентифікація			Ідентифікація НЧ, небезпечних дій та бездій	Первинний аналіз – визначення рівня ПР за кожним НЧ та загального ПР небезпеки		
небезпека	НП	негативні наслідки	вплив на вірогідність настання НП та/або на тяжкість наслідків НП від НЧ	вірогідність настання НП від НЧ - *i*	ступень тяжкості від настання НП від НЧ - *i*	рівень ПР від НЧ - *i*
автомобіль, що рухається	ДТП	інвалідність, смерть	$НЧ_1$	$Вп_{i1}$	$Тп_{i1}$	$Rп_{i1}$
			$НЧ_2$	$Вп_{i2}$	$Тп_{i2}$	$Rп_{i2}$
			$НЧ_3$	$Вп_{i3}$	$Тп_{i3}$	$Rп_{i3}$
			$НЧ_4$	$Вп_{i4}$	$Тп_{i4}$	$Rп_{i4}$
			$НЧ_5$	$Вп_{i5}$	$Тп_{i5}$	$Rп_{i5}$
			…	…	…	…
			$НЧ_i$	$Вп_{ji}$	$Тп_{ii}$	$Rп_{ji}$
			…	…	…	…
			$НЧ_n$	$Вп_{in}$	$Тп_{in}$	$Rп_{in}$
			Загальний первинний негативний ПР небезпеки від всіх *n* НЧ			$Rп_i=Rп_{ji}+ … + Rп_in$

Таблиця 3

Рівні вірогідності (*B*) НП

Градація рівня впливу	Рівень імовірності НП	Характеристика (опис)
1	Неможливий	Імовірність близька до нуля
2	Практично неможливий	Надзвичайно малоймовірно, що подія відбудеться протягом строку
3	Малоймовірний	Малоймовірно, але може раз відбутися протягом строку
4	Рідкий	Відбувається принаймні один раз протягом строку
5	Імовірний	Відбувається кілька разів протягом строку
6	Високо ймовірний	НП відбувається часто протягом розгляданого строку

Таблиця 4

Рівні тяжкості наслідків (*T*) НП

Градація рівня впливу	Рівень тяжкості наслідків	Характеристика наслідків для гігієни і безпеки праці
1	Незначний	Незначні ушкодження в однієї людини, незначне нездужання в однієї людини, майже відсутня, несуттєва шкода системи або навколишнього середовища
2	Низький	Травма легкого ступеня тяжкості в однієї людини, незначні ушкодження у групи людей, професійне захворювання легкого ступеня тяжкості в однієї людини, незначне нездужання у групи людей, завдання незначної шкоди системі або навколишньому середовищу
3	Помірний	Травми середньої тяжкості в однієї людини, легкі травми у групи людей, професійне захворювання середньої тяжкості в однієї людини, професійне захворювання легкого ступеня тяжкості у групи людей, завдання несуттєвої шкоди системи
4	Значний	Тяжкі травми в однієї людини, травми середньої тяжкості у групи людей, тяжке професійне захворювання в однієї людини, професійне захворювання середньої тяжкості у групи людей, значна шкода, завдана одному елементу системи
5	Високий	Загибель однієї людини, групові тяжкі травми, групові тяжкі професійні захворювання, руйнування системи
6	Катастрофічний	Групова загибель людей, руйнування системи, завдання великої шкоди навколишньому середовищу

Після визначення рівня ПР пропонуються рішення щодо запобіжних дій для його зниження. За результатами визначення рівня ризику його може бути віднесено до однієї з груп ризику (табл. 3, 4):

I, II – потрібні заходи щодо зниження ризику;

III – не потрібні заходи щодо зниження ризику, але потрібен контроль за небезпекою;

IV – не потрібні заходи щодо зниження ризику і не потрібен контроль за небезпекою.

Дуже часто вжиті захисні заходи зменшують імовірність ризику, але не усувають небезпеку. У цих випадках знижується ймовірність ризику, але його тяжкість залишається без зміни.

Потрібно також розглядати запобіжні дії, спрямовані на зниження ступеня тяжкості наслідків. При рівні ризику категорично неприйнятний та неприйнятний розуміємо, що роботи виконувати забороняється без зміни в умовах та без розробки і впровадження заходів щодо зниження ризиків. Першочергово мають бути виконані упереджувальні та захисні заходи для унеможливлення реалізації небезпеки в НП та/або зниження наслідків НП. Встановлюється контроль за забороною проведення робіт.

Першим кроком під час процесу ідентифікації небезпек є складання реєстрів небезпек і НЧ, які впливають на вантажні автомобільні перевезення. Реєстр небезпек, які призводять до ДТП, який складений на основі звітів з розслідування різних інцидентів наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Реєстр небезпек, які діють на водія автомобільного транспорту

Небезпека	НП	НЧ небезпеки	
		що впливають на вірогідність	що впливають на ступень тяжкості
Автомобіль, що рухається	ДТП	Організаційні – розділена полоса з зустрічною; стан водія; технічний стан автомобіля; швидкість автомобіля; швидкість зустрічного автомобіля	стан водія; швидкість автомобіля; швидкість зустрічного автомобіля, аптечка, компетентність до медичної допомоги
Працюючий двигун автомобіля	Пожежа	Технічний стан автомобіля, не якісний ремонт	наявність і технічний стан вогнегасника
Працюючий двигун автомобіля в якому накопичились пари пального	Вибух	Технічний стан автомобіля; відсутність контролю появи парів пального; не якісний ремонт	технічний стан автомобіля, аптечка, компетентність до медичної допомоги

Відповідно до вимог стандарту ISO 45001 та враховуючи гігієнічну класифікацію умов праці в кожній із зазначених груп факторів на основі ретельного аналізу виробничого процесу, було підібрано низку різних як зовнішніх так і внутрішніх небезпечних чинників, які наведені в табл. 6.

Таблиця 6

Приклад реєстру НЧ водія автомобіля

Людський фактор	А1	Відсутність спеціальних знань
	А2	Відсутність практичного застосування спеціальних знань
	А3	Брак навичок розуміння системи та навичок прийняття рішення
	А4	Фізичний стан здоров'я і психофізіологічний стан водія
	А5	Відсутність регулярного та періодичного навчання підвищення навичок професійної майстерності
Технічний	А6	Відсутність якості та кількості зарядки АКБ
	А7	Невідповідність вантажопідйомності транспортного засобу кількості вантажу, що перевозиться
	А8	Експлуатація технічно несправного автомобіля та обладнання
	А9	Не якісні запчастини та несвоєчасна поставка і заміна агрегатів та вузлів
	А10	Експлуатація обладнання після гарантійного строку експлуатації
	А11	Не вчасно замінені гідравлічні шланги після розпридільника
	А12	Недбалість дотримання перевірок технічного стану систем безпеки автомобіля
	А13	Експлуатація несправного гідравлічного обладнання
	А14	Відсутність нагляду та технічної перевірки
Організаційні	А15	Зіткнення з зустрічним транспортним засобом
	А16	Втома, погіршення уваги, уповільнення реакції
	А17	Відсутність ефективного контролю за безпекою праці
	А18	Відсутність ефективних засобів кріплення вантажу
	А19	Робота на відкритої місцевості в природних умовах
Операційні	А20	М'яка (рихла) поверхня ґрунту
	А21	Складні погодні умови
	А22	Відсутність належного передрейсового медичного контролю стану здоров'я водія
	А23	Туман, дощ, сніг/ нічна пора доби - погана видимість
Соціальні	А24	Відсутність фінансової підтримки у скрутному становищі
	А25	Низька заробітна плата
	А26	Відсутність грошових доплат за складність виконання професійних функцій
	А27	Відволікання за кермом; дзвінки, реакція
Ергономічні	А28	Відсутність підлокітників в сидінні на робочому місці
	А29	Відсутність достатньої оглядовості на робочому місці
	А30	Відсутність регулювання керма

Далі проводиться їх ранжування за допомогою методу DEMATEL, де спочатку експерти проводять попарні порівняння визначених небезпечних чинників (рис. 3). Розміри матриці визначаються кількістю небезпечних чинників (A30), які впливають на появу конкретної небезпечної ситуації. Експерти складають матрицю виходячи зі суб'єктивної оцінки найбільшої взаємодії з іншими показниками. В даному випадку судження, як правило, базується на підході контролю ПР. Вважається, що всі НЧ з кожної групи призведуть до НП і, загалом, завдають загрозу життю людини. Крім того при складанні матриці, експертам пропонується враховувати можливість контролю за величиною кожного чинника.

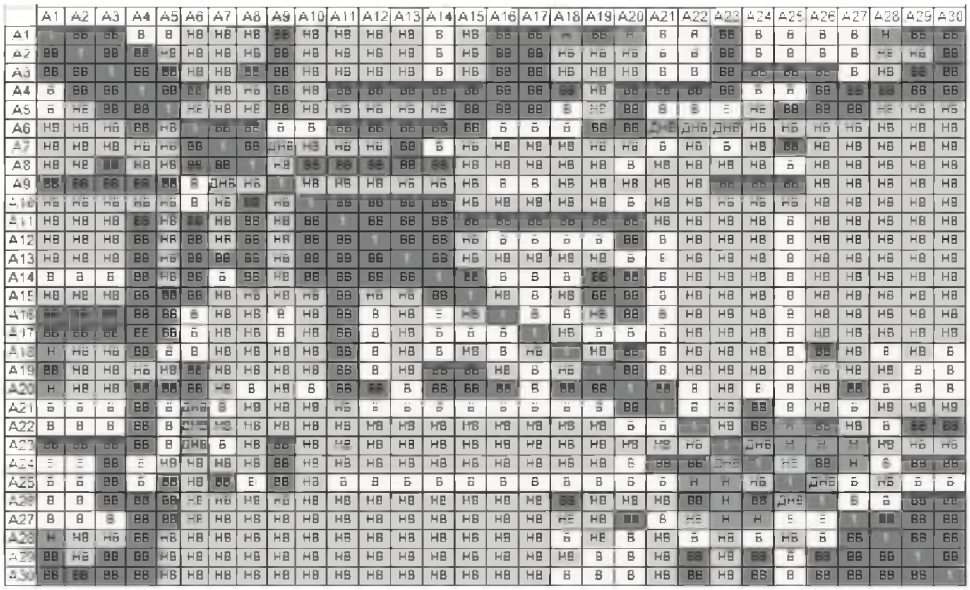

Рис. 3. Приклад матриці попарних порівнянь, яку заповнюють експерти (фрагмент)

Далі проводиться опрацювання їх результатів, що дозволяє отримати пріоритезацію НЧ (табл. 7), що дозволяє провести детальний аналіз з визначення впливу тих чи інших НЧ. Так, у наведеному прикладі найбільший показники зафіксовано у НЧ під номером A_3, A_8, A_{15}, A_{16}, A_{21}, A_{27}. При цьому від'ємний знак у колонці рівень впливу вказує, що вони більше вплинуть на величину наслідків від виникнення НП.

Таблиця 7

Пріоритезація НЧ на основі ступеня важливості ($r + c$) та рівня впливу ($r - c$) (фрагмент)

НЧ	Розрахункові дані		Ступінь важливості	Рівень впливу
	r	c	$r + c$	$r - c$
A3	28,77	21,63	50,40	7,14
A8	28,66	22,20	50,86	6,46
A15	28,69	22,74	51,42	5,95
A16	28,28	22,62	50,90	5,66
A21	28,72	23,14	51,86	5,58
A27	27,97	24,35	52,32	3,62

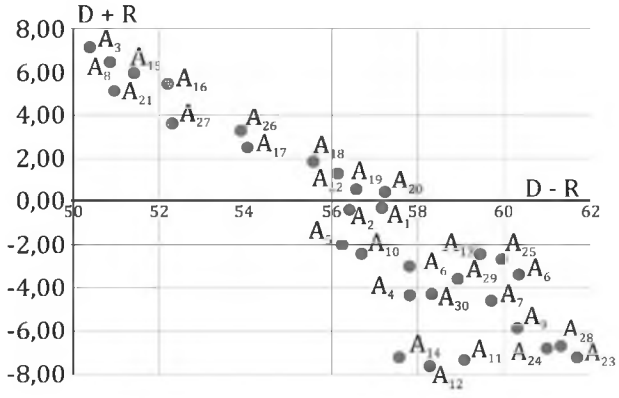

Рис. 4. Приклад карти зв'язку між вимірами НЧ

Побудована пріоритезація НЧ сумісно з їх ранжуванням дозволяє отримати карту зв'язків між вимірами НЧ (рис. 4), з якої вибираємо найбільш значущі для подальшої оцінки ПР. Для цього скористаємось наступною умовою $\max(D\text{-}R) \geq (Di\text{-}Ri) > 0{,}2\max(D\text{-}R)$, де коефіцієнт 0,2 вказує, що в подальших розрахунках будемо враховувати тільки ті НЧ, рівень впливу яких не менше 50% від максимального. В даному випадку ця величина буде складати 1,1, тобто враховуємо всі чинники, які мають рівень впливу більше 1,1.

В табл. 8 наведена оцінка ризику настання дорожньо-транспортної пригоди при впливі декількох визначених небезпечних чинників (A_3, A_8, A_{15}, A_{16}, A_{21}, A_{27}).

Таблиця 8

Приклад оцінки ПР від НЧ водія вантажного автомобіля

Ідентифікація			Ідентифікація НЧ, небезпечних дій та бездій	Первинний аналіз – визначення рівня ПР за кожним НЧ та загального ПР небезпеки		
небезпека	НП	негативні наслідки	вплив на вірогідність настання НП та/або на тяжкість наслідків НП від НЧ	вірогідність настання НП від НЧ - *i*	ступень тяжкості від настання НП від НЧ - *i*	рівень ПР від НЧ - *i*
автомобіль, що рухається	ДТП	інвалідність, смерть	А3. Брак навичок розуміння системи та навичок прийняття рішення	3	6	18
			А8 Експлуатація технічно несправного автомобіля та обладнання	4	6	24
			А15 Зіткнення з зустрічним транспортним засобом	4	6	24
			А16 Втома, погіршення уваги, уповільнення реакції	6	4	24
			А21 Складні погодні умови	6	3	18
			А27 Понаднормований графік роботи	6	4	24
			Загальний первинний негативний ПР небезпеки *j* від всіх *n* НЧ			132

Отриманий результат величини ризику перевищує 100 балів, що говорить, в даному випадку, про неприйнятність результату. Це вимагає у детальному аналізі НЧ (табл. 8) розробки пропозицій (табл. 9) щодо зменшення їх впливу з послідуючим аналізом залишкового рівня ПР.

Таблиця 9

Рекомендації щодо зменшення впливу НЧ на вірогідність настання НП – ДТП

НЧ	Рекомендації щодо зменшення ПР
А3. Брак навичок розуміння системи та навичок прийняття рішення	Періодично необхідно оцінювати водіїв, перевіряти їх компетентність та виявляти прогалини у навичках водіїв, забезпечити необхідну підготовку водіїв, розробити та впровадити процедури безпечного водіння.
А8 Експлуатація технічно несправного автомобіля та обладнання	Розробити графіки планових ТО, оснастити автомобіль засобами контролю за технічним станом, які унеможливлюють його рух без відповідного обслуговування.
А15 Зіткнення з зустрічним транспортним засобом	Необхідно організувати навчання водіїв щодо запобігання зіткненням, запровадити політику вибору транспортних засобів, яка унеможливлює, принаймні зменшує вірогідність зіткнення транспортних засобів.
А16 Втома, погіршення уваги, уповільнення реакції	Періодично необхідно проводити оцінку навичок водіння, а також забезпечити навчання чи наставництво для розвитку необхідних навичок, розмістити системи контролю за фізичним станом водіїв, розробляти і періодично переглядати графіки роботи водіїв, забезпечити контроль роботи водіїв в нічний час.
А21 Складні погодні умови	Запровадити інформування водіїв про погодні умови на маршруті, створити можливості для швидкої заміни маршрутів при виникненні складних погодних умов, забезпечити контроль за станом автомобіля, який виїжджає на маршрут при відомих складних погодних умовах, забезпечити навчання водінню в складних погодних умовах.
А27 Понаднормований графік роботи	Розробити та впровадити політику та процедури, які унеможливлюють понаднормовий графік роботи водіїв

Висновки та напрямки подальших досліджень. Процес ідентифікації НЧ передбачає визначення причини та джерел ризику, а також події та ситуації, які може мати загальні результати щодо цілей і характеру ПР. В сукупності – це є фундаментом для проведення обґрунтування дієвих запобіжних і захисних заходів. З даного прикладу виявлено шість основних НЧ, які мають найбільший вплив як на вірогідність настання інциденту, так і на важкість наслідків, що дозволяє в подальшому ретельніше провести дослідження саме цих факторів. Для цього слід звернути увагу вже на розвиток НП, оцінити дієвість всіх існуючих засобів контролю, наприклад, специфікації конструкції, своєчасність надання домедичної допомоги та запропонувати

саме ті, які дозволять значно знизити рівень ризику. Слід зазначити, що більшість відповідних НЧ взаємозалежні, що також потрібно враховувати при визначенні критеріїв вірогідності та тяжкості. Чим більше буде встановлено взаємозв'язків, тим вища повинна бути оцінка у порівнянні з іншими НЧ.

В даному дослідженні значення та масштаби критеріїв з оцінки ПР дозволили оцінити небезпеку водія вантажного автомобіля при виконанні транспортної роботи. Використовуючи метод Dematel було проведено аналіз кожного НЧ за критеріями інших рівнів (однаковий, вищий і нижчий рівні) впливають на кожен із них. У цьому випадку виявлення найбільш ефективних і найбільш уражених критеріїв і розміри ризику виконуються з більшою точністю. Тому для виявлення та контролю усіх НЧ запропоновано два сприятливих результати зменшення шкоди, завданої небажаними наслідки.

Висновки та напрямок подальших досліджень:

розроблений реєстр НЧ, які включають шість типів факторів: людський, організаційний, технічний, операційний, соціальний, ергономічний та збільшують вірогідність настання НП ДТП;

запропоновано алгоритм для оцінки ПР водіїв автомобіля, який складається з восьми основних кроків, перші три присвячені процедурі ідентифікації небезпек, НЧ та ранжуванню останніх для виявлення чинників, які є причинами настання НП й тих, які будуть наслідками перших;

проведено оцінку ПР водія автомобіля, в якій виявлено, що основними НЧ, які впливають на настання ДТП є брак навичок розуміння системи та навичок прийняття рішення, недбалість дотримання перевірок безпеки на різних етапах виконання транспортної роботи, відсутність ефективного контролю за безпекою праці та відсутність належного передрейсового медичного контролю стану здоров'я водія, усунення яких значно зменшить рівень ПР під час виконання транспортної роботи вантажних автомобільних перевезень.

Список літератури

1. **World Health Organization. Road traffic injuries 2021**. Available at: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries#.

2. **Official website of the European Union.** Road safety: 4 000 fewer people lost their lives on EU roads in 2020 as death rate falls to all time low. Available at: https://ec.europa.eu/transport/modes/road/news/2021-04-20-road-safety_en.

3. **Sayt patrul'noyi politsiyi Ukrayiny.** Statystyka. Statystyka dorozhn'o-transportnykh pryhod za period 01.01.2020 po 31.12.2020 [Site of the patrol police of Ukraine. Statistics. Statistics of road accidents in Ukraine for the period from 01.01.2020 to 31.12.2020]. Available at: http://patrol.police.gov.ua/statystyka/. (In Ukraine).

4. **Kairatkyzy G., Karsybaev E.E., Abzhapbarova A.Z., Deryugin O.V., Bas I.K.** (2022). Improving the efficiency of trucking in the conditions of a mining enterprise, Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 3, 131-136. https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-3/125.

5. **Van de Vijver, F.J., Leung, K.** (2001). Personality in cultural context: methodological issues. Journal of Personality, 69(6), 1007-1031. https://doi.org/10.1111/1467-6494.696173.

6. **Osei, E.K., Amoh, G.E.A., Schandorf, C.** (1997). Risk ranking by perception. Health Physics, 72(2), 195-203. https://doi.org/10.1097/00004032-199702000-00003/.

7. **Tsopa V., Cheberiachko S., Yavorska O., Deryugin O., Bas I.** (2022). Increasing the safety of the transport process by minimizing the professional risk of a dump truck driver. Mining of mineral deposits, 16(3), 101-108. https://doi.org/10.33271/mining16.03.101.

8. **Tsopa, V.A., Cheberiachko, S.I., Yavorska, O.O., Deryugin, O.V. & Aleksieiev, A.A.** (2022). Improvement of the safe work system. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 6, 104-111. https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/104.

9. **Di Cicco-Bloom, B., Crabtree, B.F.** (2006). The qualitative research interviews. Medical Education, 40(4), 314-321. https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02418.x.

10. **Gibbs, L., Kealy, M., Willis, K., Green, J., Welch, N., Daly, J**. (2007). What have sampling and data collection got to do with good qualitative research? Australian and New Zealand Journal of Public Health, 31(6), 540-544. https://doi.org/10.1111/j.1753-6405.2007.00140.x.

11. **Bazaluk, O., Koriashkina, L., Cheberyachko, S., Deryugin, O., Odnovol, M., Lozynskyi, V. and Nesterova, O.** (2022). Methodology for assessing the risk of incidents during passenger road transportation using the functional resonance analysis method. Heliyon, 8(75), e11814. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11814.

12. **Li, C.W., & Tzeng, G.H. (**2009). Identification of a threshold value for the DEMATEL method using the maximum mean deentropy algorithm to find critical services provided by a semiconductor intellectual property mall. International Journal of Expert Systems with Applications, 8(1), 9891-989. https://doi.org/10.1012/j.eswa.2009.01.073

13. **Vujanovic, D., Momcilovic, V., Bojovic, N., & Papic, V.** (2012). Evaluation of vehicle fleet maintenance management indicators by application of DEMATEL and ANP. Expert Systems with Applications, 39(12), 10552-10563. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012. 02.159

14. **Saaty, T.L.** (1996). The analytic network process. Arlington, United State: RWS Publications, Expert Choice, Inc.
15. **Kuan, M.J., & Chen, Y.M.** (2014). A hybrid MCDM framework combined with DEMATEL-based ANP to evaluate enterprise technological innovation capabilities assessment. Decision Science Letters, 3(4), 491-502. https://doi.org/10.5267/j.dsl.2014.6.003
16. **Гільперт В.В.** Навчання ризик-менеджменту як інструмент для вдосконалення СУОП // В.В. Гільперт // Охорона праці. - 2019. - № 8. – С. 14-16.
17. **Коноваленко Ю.** Джерела та фактори транспортного ризику при здійсненні вантажних перевезень автомобільним транспортом / Ю. Коноваленко // Галицький економічний вісник. 2013. №2 (41). С. 1020.

Рукопис подано до редакції 02.04.2023

УДК 621.316.925

А.В. ПИРОЖЕНКО, канд. техн. наук, доц., Е.О. МОДЛО, канд. пед. наук, доц.
Навчально -науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій
Ю.В. ШЕРСТНЬОВ, аспірант
Криворізький національний університет

МІНІМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ КОРПУСУ КАР'ЄРНОГО ЕКСКАВАТОРА ПРИ ПОЗАШТАТНОМУ ТОРКАННІ ЙОГО КОВШЕМ КОНТАКТНОГО ДРОТУ

Мета. У статті розглянуто стан, необхідність та пропонуємо авторське рішення щодо способу зменшення електричного потенціалу корпусу екскаватора, котрий грузить видобуту гірничу масу в думкари при торканні його ковшем контактного дроту кар'єрної тягової електромережі з напругою живлення 10 кВ змінного струму.

Методи дослідження. В основі способу зменшення потенціалу запропоновано пристрій багаторазової дії з безконтактним тиристорним ключем.

Наукова новизна. Для захисту тиристорного ключа, з метою збільшення його стійкості від можливих амплітудних імпульсів перенапруги, запропоновано структурне включення в схему пристрою конденсатора, ємкість якого вибирається за умови, що за час включення тиристора напруга на ньому не повинна перевищувати максимально допустимий рівень за умови пробою тиристора, тобто повинна бути менше імпульса перенапруги.

Практична значимість. З метою недопущення негативного впливу конденсатора на процес відключення живлення при контакті і ковш екскаватора-контактна мережа запропоновано метод вибору відповідного рівня ємкості, що, в свою чергу, дозволяє визначити мінімально необхідне його значення, котре не буде впливати на швидкодію пристрою. Згідно необхідності дотримання відповідних пунктів правил безпеки в якості критерія відповідності взято той факт, що пристрій повинен витримувати струм короткого замикання, котрий потенційно може протікати через корпус екскаватора під час несанкціонованого торкання його ковшем контактного дроту на протязі часу спрацювання на відключення вимикача фідера тягової підстанції котра живить дану ділянку тягової мережі. Для цього, а також з метою запобігання виходу з ладу силових комутуючих тиристорів відповідного ключа від струмів коротких замикань, пропонується паралельне включення двох тиристорів в кожному його плечі з максимально допустимим значенням середнього струму не менше 1 кА.

Результати. Пропонуємо схемотехнічне рішення дозволяє пристрою захисту забезпечити необхідний рівень швидкодії – до $30\text{-}10^{-6}$ с., що відповідає нормам електробезпеки.

Ключові слова: електробезпека, екскаватор, тягова електрична мережа, пристрій, захист, кар'єр.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На відкритих гірничих роботах (кар'єри, рудники) України крім електрифікованого залізничного транспорту постійного струму з напругою живлення контактної мережі 1,65 та 3,3 кВ застосовується напруга 10 кВ змінного струму. Водночас саме контактні мережі нерідко являють собою джерело електротравматизму працюючих гірників.

Одним з найбільш одіозних джерел електротравматизму на відкритих гірничих роботах є екскаваторні забої, де здійснюється навантаження гірничої маси в думпкари електрифікованого залізничного транспорту. Під час виконання вказаних робіт доволі часто трапляються торкання ковшем екскаватора контактного проводу. При цьому струм обмежений опором кола корпус екскаватора – рейки та опором заземлювального кола екскаватора і менше за уставку спрацювання максимально – струмового захисту фідера тягової підстанції. Небезпеку ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу екскаватора представляють напруга доторкання до

© Пироженко А.В., Модло Е.О., Шерстньов Ю.В., 2023