

УДК 656.025.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОГІСТИЧНИХ РИЗИКІВ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЕКТУ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НЕГАБАРИТНОГО І ВЕЛИКОВАГОВОГО ВАНТАЖУ (ЛОПАТЬ РОТОРА ВІТРОВОГО ГЕНЕРАТОРА)

С.І. Чеберячко¹, О.В. Дерюгін², Р.А. Кривий³

¹доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна, e-mail: sicheb@ukr.net

²кандидат технічних наук, доцент кафедри управління на транспорті, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна, e-mail: oleg.kot@meta.ua

³студент групи 275м-21-1, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна, e-mail: haglekin@gmail.com

Анотація. В роботі обґрунтовано заходи з усунення логістичних ризиків транспортного проекту перевезень негабаритного і великовагового вантажу автомобільним транспортом.

Ключові слова: негабаритний і великоваговий вантаж, логістичний ризик, автомобільні вантажні перевезення, вантажний автопоїзд, метод *fuzzi Dematel*

LOGISTICAL RISKS INVESTIGATION OF TRANSPORT PROJECT OF OVERSIZED AND HEAVY CARGO FREIGHT ROAD TRANSPORTATION (WIND GENERATOR ROTOR BLADE)

Serhiy Cheberyachko¹, Oleg Deryugin², Roman Kryvyi³

¹Dr. Sc. (Tec.), Professor of Department of Labour Protection and Civil Safety, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine; e-mail: sicheb@ukr.net

²Ph. D., Associate professor of Department of Transportation Management, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: oleg.kot@meta.ua

³Student, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: haglekin@gmail.com

Abstract. The paper substantiates measures to eliminate the logistical risks of the transport project of transportation of oversized and heavy cargo by road.

Keywords: oversized and heavy cargo, logistics risk, car freight transportation, freight vehicles, *fuzzi Dematel* method

Вступ. Розвиток вітрової енергетики в Україні в останнє десятиліття приніс із собою поштовх до побудови великої кількості вітрових електростанцій. Необхідно відмітити, що зростаючий попит на альтернативні види енергії, знижує собівартість виробленої електричної енергії і, як наслідок - кінцевий споживач відчуває переваги цього процесу при сплаті комунальних послуг.

Проблеми, які пов'язані з передачею енергії на великі відстані змусило виробників цієї продукції перейти до виробництва більш потужних і ефективних вітрових турбін з довшими лопатями. Зараз багато виробників випускають лопаті довжиною - 57-62 м. Але, збільшення довжини лопаті створює складності при розробці транспортного проекту готового вітрогенератора до міста встановлення. Варіанти транспортування автомобільним транспортом великих лопатей часто обмежені, і вони здійснюються з великою кількістю логістичних ризиків (далі - ЛР), часом і фінансовими витратами. Тому при розробці проекту перевезення відповідного типу вантажу автомобільним транспортом, необхідно врахувати ЛР на всіх етапах транспортного процесу [1, 2, 3, 4].

Мета роботи. Метою дослідження є розробка управлінських рішень, спрямованих на підвищення ефективності вантажних автомобільних перевезень (далі - ВАП) негабаритного і великовагового вантажу (далі - НіВВ) - лопать ротора вітрового генератора за рахунок мінімізації або усунення ЛР при розробці транспортного проекту.

Вирішення задач, які формують мету представленого дослідження полягають в наступному:

- визначити алгоритм дослідження ЛР методом fuzzy Dematel;
- провести комплексне оцінювання ЛР при розробці транспортного проекту ВАП НіВВ за значенням методом;
- запропонувати управлінські рішення, які спрямовані на мінімізацію або усунення ЛР при розробці транспортного проекту ВАП НіВВ.

Матеріали і результати дослідження. Для досягнення поставленої мети скористаємось методом випробування та оцінки прийняття рішень "Decision Making Trial and Evaluation" (далі - метод fuzzy Dematel) вперше був розроблений для встановлення структури комунікаційного відображення для визначення причинно-наслідкового зв'язку між вимірами та критеріями на основі теорії графів. Метод fuzzy Dematel перевершує інші багатокритеріальні методики прийняття управлінських рішень, таких як методи "Interpretive structural modeling" (ISM) і "Analytic Hierarchy Process" (AHP), оскільки вона дозволяє ефективно оцінити загальний ступінь впливу різних факторів або проблем, виділити причинно-наслідкові групи і встановити причинно-наслідкові зв'язки [19, 20]. Використання нечіткостей в методі fuzzy Dematel дозволяє використовувати неточну інформацію, яка типова для звичайних людських суджень. Він включає 4 основні етапи [5, 6].

Формування даних для аналізу. Для виявлення областей, у яких можливо вдосконалення процесу, необхідно зібрати дані, які стосуються досвіду проблеми, що розглядається, щоб можна було застосувати різні кількісні та якісні операції для уточнення деталей.

Ідентифікація отриманих даних. Інформація, зібрана на етапі А, важлива для виявлення потенційних проблем, що перешкоджають нормальному функціонуванню транспортного процесу ВАП. Виходячи з характеру отриманої інформації, проводиться кількісний та якісний аналіз даних. Можливе також перетворення якісних (логістичних висловлювань) даних у кількісні та навпаки.

Аналіз взаємозв'язків. Число проблем, виділених на цьому кроці, може змінюватись в діапазоні від декількох одиниць до дуже великих значень. Вважається, що жодна із проблем не існує сама по собі, поза зв'язком з іншими. Інакше висловлюючись, кожна проблема може проводити інші чи залежати від інших проблем. Отже, важливо проаналізувати взаємозв'язки між проблемами.

Інтерпретація отриманих результатів. На цьому етапі виконується інтерпретація результатів аналізу, проведеного на етапі аналізу взаємозв'язків.

Наведені чотири етапи представленого алгоритму можна розбити на декілька послідовних кроків проведення дослідження (рис. 1), які дозволяють отримати відповідний результат з аналізу впливу тих чи інших небезпечних чинників (далі - НЧ) на ефективність функціонування транспортного процесу ВАП.

I ЕТАП - ФОРМУВАННЯ ДАНИХ ДЛЯ АНАЛІЗУ

Крок 1. Формування групи експертів-фахівців відповідної галузі, які мають теоретичний і практичний досвід в відповідній сфері діяльності з метою ідентифікації небезпечних чинників, пов'язаних з професійною діяльністю працівника та їх наслідків.

Крок 2. Визначення критеріїв оцінювання і розробка нечіткої лінгвістичної шкали для проведення експертного оцінювання.

II ЕТАП - ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОТРИМАНИХ ДАНИХ

Крок 3. Побудова нечіткої нормалізованої матриці прямого зв'язку \tilde{Z}_i на підставі результатів експертних суджень проблеми, що розглядається.

Крок 4. Аналіз початкової нормалізованої нечіткої прямої матриці і перетворення шкали критеріїв оцінювання на шкалу порівнянних значень, в трикутні числа розроблених критеріїв оцінювання.

III ЕТАП - АНАЛІЗ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ

Крок 5. Побудова і розрахунок прямої матриці зв'язків \tilde{T} нормального відношення.

Крок 6. Значення виразів $R_i + C_j$ і $R_i - C_j$ дефазифікуються (перетворення нечіткої множини в чітке число за ступенем приналежності) за допомогою методу використання техніки дефазифікування центру області значень (COA).

IV ЕТАП - ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Крок 7. Побудова причино-наслідкової діаграми. Проведення аналізу отриманих результатів.

Рис. 1. – Алгоритм методу fuzzy Dematel

На першому кроці проводиться формування групи експертів-фахівців відповідної галузі, які мають теоретичний і практичний досвід в відповідній сфері діяльності з метою ідентифікації НЧ, пов'язаних з транспортним процесом ВАП та їх наслідків. Для проведення даної процедури підбирали п'ять експертів (табл. 1).

Таблиця 1. Дані експертів, що приймали участь у дослідженнях

Інформація	Кількість
Кількість експертів	5
Досвід роботи на посадах транспортної логістики	від 10 до 14 років
Освіта експертів	вища за фахом транспортні технології
Стаж роботи	більше 10 років
Наявність посвідчення аудитора з систем управління якістю і безпекою компаній	Так
Підвищення кваліфікації з оцінки ризиків за вимогами ISO 45001	Так

На другому кроці проводиться визначення критеріїв оцінювання і розробка нечіткої лінгвістичної шкали для проведення експертного оцінювання. На цьому етапі визначаються різні критерії та ступеня відносної значимості кожної проблеми, а також представляємо їх у лінгвістичних класифікаційних термінах: *дуже високий вплив, високий вплив, низький вплив, дуже низький вплив і ніякого впливу*. Відповіді експертів, перетворені на нечіткі числа з використанням розмитої шкали. Використовувалися трикутні нечіткі числа; трикутне нечітке число \tilde{z} визначається наступним чином: $\tilde{z} = (l, m, u)$, де l, m і u дійсні числа та $l \leq m \leq u$. Функція приналежності $\mu_{\tilde{z}}$ визначається наступним чином:

$$\mu_{\tilde{z}} = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} & \text{при } l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m} & \text{при } m \leq x \leq u \\ 0 & \text{у всіх інших випадках} \end{cases} \quad (1)$$

Третій крок передбачає побудову нечіткої нормалізованої матриці прямого зв'язку на підставі результатів експертних суджень проблеми, що розглядається. Проводиться формування нечітких матриць $\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \tilde{z}_3, \dots, \tilde{z}_p$. Трикутні нечіткі числа були згенеровані відповідно до суджень експертів, які

брали участь в експертному оцінюванні. Початкову пряму матрицю будемо називати нечіткою матрицею \tilde{z}_k :

$$\tilde{z}^k = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{z}_{12}^{(k)} & \dots & \tilde{z}_{1n}^{(k)} \\ \tilde{z}_{21}^{(k)} & 0 & \dots & \tilde{z}_{2n}^{(k)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{z}_{n1}^{(k)} & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

де $\mu_{\tilde{z}} = 1, 2, 3, \dots, p$; $\tilde{z}_{ij}^{(k)} = (l_{ij}^{(k)}, m_{ij}^{(k)}, u_{ij}^{(k)})$.

Без обмеження загальності $\tilde{z}_u^{(k)} = (i = 1, 2 \dots n)$ буде розглядатися як трикутне нечітке число $\tilde{z} = (0, 0, 0)$, коли це потрібно.

На четвертому кроці проводимо аналіз нормалізованої нечіткої матриці прямих зв'язків. Припустимо, що:

$$r_k = \max_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n u_{ij}^k \right). \quad (3)$$

Для перетворення шкали критеріїв у шкалу порівнянних значень використано лінійне перетворення, і нормалізована нечітка матриця прямих зв'язків, отримана за результатами експертного оцінювання і має наступний вигляд:

$$\tilde{x}^k = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11}^{(k)} & \tilde{x}_{12}^{(k)} & \dots & \tilde{x}_{1n}^{(k)} \\ \tilde{x}_{21}^{(k)} & \tilde{x}_{22}^{(k)} & \dots & \tilde{x}_{2n}^{(k)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{n1}^{(k)} & \tilde{x}_{n2}^{(k)} & \dots & \tilde{x}_{nn}^{(k)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

де $k = 1, 2, 3, \dots, p$.

$$\tilde{x}_{ij}^{(k)} = \frac{\tilde{z}_{ij}^{(k)}}{r^k} = \left(\frac{l_{ij}^{(k)}}{r^k}, \frac{m_{ij}^{(k)}}{r^k}, \frac{u_{ij}^{(k)}}{r^k} \right). \quad (5)$$

Подібно тому, як це прийнято у звичайному методі Dematel, ми вважаємо, що є принаймні одне значення i таке, що $\sum_{j=1}^n u_{ij}^k < \sum_{j=1}^n r^k$.

\tilde{X} позначає середнє значення суджень всіх експертів, які брали участь в оцінюванні технологічного процесу:

$$\tilde{X} = \frac{\tilde{x}^1 + \tilde{x}^2 + \dots + \tilde{x}^p}{p} \quad (6)$$

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{X}_{11} & \tilde{X}_{12} & \dots & \tilde{X}_{1n} \\ \tilde{X}_{21} & \tilde{X}_{22} & \dots & \tilde{X}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{X}_{n1} & \tilde{X}_{n2} & \dots & \tilde{X}_{nn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\text{де } \tilde{X}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p \tilde{x}_{ij}^{(k)}}{p}.$$

П'ятий крок полягає в розрахунку загальної нечіткої матриці зв'язків \tilde{T} . Відомо що, $\lim_{W \rightarrow \infty} X^W = \Theta$, де Θ - нульова матриця. Крім того, відомо, що $\lim_{W \rightarrow \infty} (1 + \tilde{X} + \tilde{X}^2 + \dots + \tilde{X}^W) = X \cdot (1 - \tilde{X})^{-1}$. Обидва ці співвідношення доведені у [6]. Остання матриця і є загальною нечіткою матрицею зв'язків \tilde{T} .

Шостий крок полягає в розрахунку загальної матриці зв'язків \tilde{T} . Також обчислюються вектори значущості та відносного становища.

На сьомому кроці всі нечіткі числа перетворюються на точні значення. Для цього використовується наступний варіант методу CFCS. Припустимо, що є трикутні нечіткі числа $\tilde{N}_k = (l_k, m_k, u_k)$; $k=1, 2, \dots, n$. За умови, що $L = \max(l_k)$; $R = \max(u_k)$; $\Delta = R - L$. Тобто звичайне значення \tilde{N}_k розраховується за наступною формулою:

$$\tilde{N}_k^{def} = L + \Delta \times \frac{(m_k - L)(\Delta + u_k - m_k)^2 (R - l_k) + (u_k - L)^2 (\Delta + m_k - l_k)^2}{(\Delta + m_k - l_k)^2 (\Delta + u_k - m_k)^2 (R - l_k) + (u_k - L)(\Delta + m_k - l_k)^2 (\Delta + u_k - m_k)} \quad (8)$$

За результатами розрахунку, який проведено на 7 кроку, будується причино наслідкова діаграма. Після виявлення найбільш впливових НЧ проводимо оцінку ЛР який передбачає визначення його рівня як суми добутку вірогідності небезпечної події (далі - НП) ($B_{\pi j}$) і тяжкості наслідків ($T_{\pi j}$) від усіх попередньо встановлених найбільш впливових НЧ.

$$R_{\pi} = \sum (B_{\pi j} \times T_{\pi j}) \quad (9)$$

У випадку отримання від'ємних значень, рівень ЛР приймається рівним нулю і вважається низьким. Градації рівнів впливу означених величин приводяться в таблицях 2, 3. Після визначення рівня ЛР пропонуються рішення щодо запобіжних дій для його зниження.

Таблиця 2. Рівні вірогідності (B_{pi}) НП

Градація рівня впливу	Рівень імовірності НП	Характеристика (опис)
1	Неможливий	Імовірність близька до нуля
2	Практично неможливий	Надзвичайно мало ймовірно, 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 3. Рівні тяжкості наслідків (T_{pi}) НП

Градація рівня впливу	Рівень тяжкості наслідків
1	Незначний
2	Низький
3	Помірний
4	Значний
5	Високий
6	Катастрофічний

Як вже зазначалось необхідною умовою успішної оцінки ПР є виявлення всіх потенційних НЧ, що є основою першого кроку в оцінці ПР - ідентифікації небезпек. До основної складності згаданого процесу відносять - обробку значної кількості інформації, тобто визначення впливу того чи іншого чинника на основі встановлення причинно-наслідкових зав'язків, що випроводимо за допомогою методу fuzzyt Dematel. Група експертів (табл. 1) окремо один від одного, проводила попарні порівняння з визначених НЧ (табл. 4) та заповнювала відповідну матрицю-діаграму (рис. 2) заздалегідь встановленими критеріями (табл. 5). Нажаль на цей процес має доволі значний вплив суб'єктивні судження експертів, які підсилюються можливими когнітивними спотвореннями. Тому виникає необхідність у застосуванні різноманітних математичних підходів для обробки отриманих результатів від експертів та перевірки їх оцінок на викиди застосовується критерій Граббса:

$$G_{\max} = \frac{X_n - \bar{X}}{s}, \quad (10)$$

де X_n - запропоновані оцінки експертів; \bar{X} - середнє значення вибірки; S - середнє квадратичне відхилення.

Де необхідно розрахувати математичне очікування або середнє значення отриманих результатів:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (11)$$

Також необхідно розрахувати середнє квадратичне відхилення:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}. \quad (12)$$

За допомогою наведених формул перевіряємо на викид максимальні і мінімальні результати оцінок експертів за умови, що показник перевищить критичне значення:

$$\begin{cases} G_{\max} \geq G_{n, 1-\alpha} \\ G_{\min} \geq G_{1, 1-\alpha} \end{cases}, \quad (13)$$

де α – рівень значимості, який визначається у відповідності до вимог [7].

У разі невиконання вказаної нерівності результати оцінок будуть вважатися викидами, які необхідно виключити. При чому з експертами, що дали таку оцінку проводиться роз'яснення для виявлення причин обґрунтованості їх вибору балів під час проведення експертизи. Критичні значення статистик вибираються виходячи із закону розподілу випадкової величини. Дані значення можуть бути знайдені для нормального розподілу відповідно до вимог [7, 8]. У разі підозри на два викиди, проводиться оцінка сукупності результатів на двовикидну статистику Граббса.

Дуже часто запропоновані захисні заходи зменшують імовірність ЛР, але не усувають небезпеку. У цих випадках знижується ймовірність ЛР, але його тяжкість залишається без зміни. При рівні ЛР категорично неприйнятний та неприйнятний розуміємо, що роботи виконувати забороняється без зміни в умовах та без розробки і впровадження заходів щодо зниження ЛР. Першочергово мають бути виконані упереджувальні та захисні заходи для унеможливлення реалізації небезпеки в НП та/або зниження наслідків НП. На основі проведеного аналізу найбільш ймовірною НП при здійсненні ВАП НіВВ - лопаті вітряного генератора є невідповідність РС, що пов'язано з

п'ятьма основними типами НЧ: людського, технічного, транспортного, соціального і факторів зовнішнього середовища, з яких виділено двадцять НЧ, які можуть створювати ЛР при здійсненні ВАП НіВВ (табл. 2.6).

Таблиця 4. – НЧ, які збільшують вірогідність настання ЛР при здійсненні ВАП лопаті вітряного генератора

Категорія небезпеки	Код	НЧ
Людський фактор	A ₁	Психофізіологічний стан водія
	A ₂	Відсутність регулярного підвищення кваліфікації
	A ₃	Брак навичок розуміння системи та ефективного прийняття рішень під час керування транспортним засобом (далі – ТЗ) при перевезенні НіВВ
	A ₄	Недостатній професійний досвід водія при здійсненні перевезень НіВВ
	A ₅	Недостатня кваліфікація осіб, які виконують навантажувально-розвантажувальні роботи
Технічний фактор	A ₆	Експлуатація технічно несправного ТЗ
	A ₇	Невідповідність вантажопідйомності ТЗ параметрам вантажу
	A ₈	Використання для перевезення НіВВ невідповідного ТЗ
	A ₉	Використання неякісних засобів кріплення вантажу
	A ₁₀	Відсутність ефективної системи ТОіР ТЗ
Соціальний фактор	A ₁₁	Незадоволення умовами праці (відсутність нових ТЗ)
	A ₁₂	Незадоволення розміром заробітної плати
	A ₁₃	Відсутність грошових доплат за виконання професійних функцій високої складності
	A ₁₄	Незадоволення недосконалою системою організації ВАП НіВВ на автотранспортному підприємстві
Транспортний фактор	A ₁₅	Незадоволення ергономікою робочого місця водієм
	A ₁₆	Невідповідність рухомого складу (далі – РС) автотранспортного підприємства здійснювати перевезення НіВВ
	A ₁₇	Вплив шкідливих НЧ (пил, шум, вібрація, темп-ний режим та ін.)
Фактори зовнішнього середовища	A ₁₈	Перевезення НіВВ в складних погодних умовах
	A ₁₉	Незадовільний стан транспортної інфраструктури на маршруті перевезення НіВВ
	A ₂₀	Невідповідність габаритних розмірів транспортної інфраструктури технологічним можливостям перевезення НіВВ

Процес визначення причинних НЧ на можливість прояву ЛР при транспортуванні НіВВ. На цьому етапі різний ступінь впливу одного НЧ на інші представлено в формі п'яти лінгвістичних термінів: дуже високий вплив (ВВ), високий вплив (В), низький вплив (Н), дуже низький вплив (ДНВ), ніякого впливу (НВ) (табл. 4).

Таблиця 5. – Представлення лінгвістичних термінів ступня впливу одного НЧ на інші

Дуже високий вплив	ВВ	0,75	1	1
Високий вплив	В	0,5	0,75	1
Низький вплив	Н	0,25	0,5	0,75
Дуже низький вплив	ДНВ	0	0,25	0,5
Ніякого впливу	НВ	0	0	0,25

	A1□	A2□	A3□	A4□	A5□	A6□	A7□	A8□	A9□	A10□	A11□	A12□	A13□	A14□	A15□	A16□	A17□	A18□	A19□	A20□
A1□	1□	ДНВ□	ДНВ□	ДНВ□	ДНВ□	В□	ДНВ□	ДНВ□	В□	Н□	ДВВ□	ДВВ□	ДВВ□	В□	ДВВ□	В□	ДВВ□	В□	В□	ДНВ□
A2□	ДНВ□	1□	ДВВ□	ДВВ□	ДНВ□	ДНВ□	Н□	Н□	Н□	ДНВ□	НВ□	НВ□	Н□	Н□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	В□
A3□	ДНВ□	А1ДВВ□	1□	В□	ДНВ□	В□	В□	Н□	Н□	ДНВ□	ДНВ□	НВ□	ДНВ□	НВ□	ДНВ□	ДНВ□	ДНВ□	ДНВ□	ДНВ□	НВ□
A4□	ДНВ□	ДВВ□	В□	1□	НВ□	В□	Н□	ДНВ□	Н□	ДНВ□	Н□	ДНВ□	Н□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	Н□	Н□	Н□
A5□	ДНВ□	ДНВ□	ДНВ□	НВ□	1□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	ДНВ□	НВ□	НВ□	НВ□
A6□	В□	ДНВ□	В□	В□	НВ□	1□	Н□	ДВВ□	В□	В□	ДВВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	В□	В□	НВ□	НВ□	ДНВ□
A7□	ДНВ□	Н□	В□	Н□	НВ□	Н□	1□	ДНВ□	ДНВ□	В□	ДВВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	ДНВ□	ДНВ□	НВ□	НВ□	НВ□
A8□	ДНВ□	Н□	Н□	ДНВ□	НВ□	ДВВ□	ДНВ□	1□	Н□	ДНВ□	В□	НВ□	НВ□	НВ□	ДВВ□	В□	В□	ДНВ□	ДНВ□	Н□
A9□	В□	Н□	Н□	Н□	НВ□	В□	ДНВ□	Н□	1□	НВ□	В□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	ДНВ□
A10□	Н□	ДНВ□	ДНВ□	ДНВ□	НВ□	В□	В□	ДНВ□	НВ□	1□	Н□	НВ□	НВ□	НВ□	ДНВ□	ДНВ□	ДНВ□	НВ□	ДНВ□	НВ□
A11□	ДВВ□	НВ□	ДНВ□	Н□	НВ□	ДВВ□	ДВВ□	В□	В□	Н□	1□	ДВВ□	ДВВ□	В□	В□	В□	В□	В□	В□	В□
A12□	ДВВ□	НВ□	НВ□	ДНВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	ДВВ□	1□	В□	В□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□
A13□	ДВВ□	Н□	ДНВ□	Н□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	ДВВ□	В□	1□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	ДНВ□	НВ□
A14□	В□	Н□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	ДВВ□	В□	НВ□	1□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	Н□
A15□	ДВВ□	НВ□	ДНВ□	НВ□	НВ□	В□	НВ□	ДВВ□	НВ□	ДНВ□	В□	НВ□	НВ□	НВ□	1□	ДВВ□	Н□	Н□	НВ□	НВ□
A16□	В□	НВ□	ДНВ□	НВ□	НВ□	В□	ДНВ□	В□	ДНВ□	ДНВ□	В□	НВ□	НВ□	НВ□	ДВВ□	1□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□
A17□	ДВВ□	НВ□	ДНВ□	НВ□	ДНВ□	В□	ДНВ□	В□	ДНВ□	ДНВ□	В□	НВ□	НВ□	НВ□	Н□	НВ□	1□	Н□	НВ□	Н□
A18□	В□	НВ□	ДНВ□	Н□	НВ□	НВ□	НВ□	ДНВ□	В□	НВ□	В□	НВ□	НВ□	НВ□	Н□	НВ□	Н□	1□	Н□	Н□
A19□	В□	НВ□	ДНВ□	Н□	НВ□	НВ□	НВ□	ДНВ□	Н□	ДНВ□	В□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	НВ□	Н□	НВ□	1□	НВ□
A20□	ДНВ□	В□	НВ□	Н□	НВ□	ДНВ□	НВ□	Н□	ДНВ□	НВ□	В□	НВ□	НВ□	Н□	НВ□	НВ□	Н□	Н□	НВ□	1□

Рис. 2. – Приклад матриці попарних порівнянь, яку заповнюють експерти

Після отримання експертних оцінок від членів експертної групи, проводиться вимір взаємозв'язків між різними НЧ - I_i | $i = 1, 2, \dots, 3$, число експертів, що приймають участь у прийнятті рішень – три. Отримано 3 нечіткі метрики \tilde{z}^k відповідних матриць нечітких трикутних чисел. Далі будується нормалізована нечітка матриця прямих зв'язків. Кожна нечітка матриця прямих зв'язків \tilde{x}^k обчислюється з використанням нечітких трикутних чисел $\tilde{z}_{ij}^{(k)}$ з матриці \tilde{z}^k на основі співвідношень (3) та (4).

Сумарна нормалізована нечітка матриця прямих зв'язків \tilde{X} розраховується на основі співвідношень (5) та (6). Це дозволяє провести обчислення загальної нечіткої матриці зв'язків \tilde{T} . Потім обчислюються сума рядків та сума стовпців загальної матриці зв'язків \tilde{T} . Сума рядків позначається через \tilde{D} , а сума стовпців через \tilde{R} [9, 10, 11]. В табл. 6 наведено результати розрахунку для $(\tilde{D} + \tilde{R})$ та $(\tilde{D} - \tilde{R})$.

Таблиця 6. – Сумарні значення \tilde{D} , \tilde{R} , вектор значущості та вектор відносного положення

Фактор	\tilde{D}	\tilde{R}	$(\tilde{D} + \tilde{R})$	$(\tilde{D} - \tilde{R})$	Ранг
A ₁	20,4036	25,1789	45,5825	-4,7752656	20
A ₂	26,2286	24,1555	50,3841	2,0730691	3
A ₃	26,2537	26,5834	52,8370	-0,3297363	14
A ₄	26,1544	27,9672	54,1216	-1,8127643	16
A ₅	26,0224	24,8306	50,8531	1,1918125	8
A ₆	26,0723	25,9265	51,9987	0,1458355	12
A ₇	25,8358	24,9320	50,7678	0,9038453	9
A ₈	25,5432	26,8318	52,3750	-1,2886539	15
A ₉	25,1703	24,8667	50,0370	0,3035956	11
A ₁₀	25,1243	23,8513	48,9757	1,2730062	7
A ₁₁	25,3113	28,6225	53,9338	-3,3111754	17
A ₁₂	25,1650	28,6885	53,8535	-3,5234893	18
A ₁₃	24,9446	24,2151	49,1598	0,7295206	10
A ₁₄	24,8140	28,4758	53,2898	-3,6617971	19
A ₁₅	24,5328	23,0716	47,6045	1,4612392	6
A ₁₆	24,9433	21,2497	46,1931	3,6936244	1
A ₁₇	25,2537	22,2429	47,4966	3,0108689	2
A ₁₈	25,5493	23,5070	49,0563	2,0423172	4
A ₁₉	25,6955	23,7244	49,4199	1,9710545	5
A ₂₀	25,5722	25,6691	51,2414	-0,0969072	13

Відповідно до формули (5) виконується процес дефазифікації для векторів значущості та відносного становища. Перетворення дефазифікації показано у табл. 6 і рейтинги причинно-наслідкових проблем задачі, що розглядається. На діаграмі (рис. 3) наведені зв'язки між різними проблемами ВАП, (схема причин і наслідків).

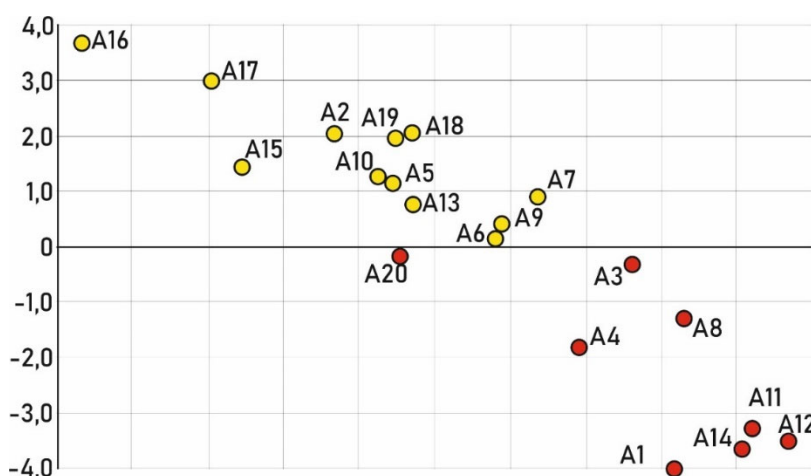


Рис. 3. – Причино-наслідкові зв'язки НЧ (схема причин і наслідків)

В табл. 7 наведено пріоритезацію НЧ над наслідками їх впливу, що дозволяє отримати карту зв'язків між вимірами НЧ, з якої вибираємо найбільш значущі для подальшого оцінювання ЛР. Аналіз отриманих результатів показав, що найбільший ранг мають НЧ, які є найменш прогнозованими і залежить від рівня організації ВАП. До них відносять відсутність можливості підвищення навичок професійної діяльності, майстерності та відсутність належного передрейсового медичного контролю, стану здоров'я водія вантажного автомобіля, наявності спеціалізованого РС на АП для перевезення відповідного типу вантажу. Найімовірніше, це пов'язано зі значною кількістю виробничих завдань і високими нормативними вимогами до транспортного процесу, які, на жаль, у більшості випадків не підкріплені відповідним рівнем контролю і підтримки з боку керівників АП [9-11].

Таблиця 7. – Причинні НЧ та пов'язані з ними наслідкові НЧ

Причинні НЧ	Наслідкові НЧ
A ₁₆ →	A ₂₀ , A ₃ , A ₈ , A ₄ , A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁₄ , A ₁
A ₁₇ →	A ₂₀ , A ₃ , A ₈ , A ₄ , A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁₄ , A ₁
A ₂ →	A ₃ , A ₈ , A ₄ , A ₁₁ , A ₁₄ , A ₁
A ₁₈ →	A ₃ , A ₄ , A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁₄ , A ₁
A ₁₉ →	A ₂₀ , A ₄ , A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁₄ , A ₁
A ₁₅ →	A ₂₀ , A ₃ , A ₈ , A ₄ , A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁₄ , A ₁
A ₁₀ →	A ₂₀ , A ₃ , A ₈ , A ₄ , A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁₄ , A ₁
A ₅ →	A ₃ , A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁₄
A ₇ →	A ₂₀ , A ₃ , A ₄ , A ₁₄
A ₁₃ →	A ₃ , A ₄ , A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁
A ₉ →	A ₃ , A ₄ , A ₁₁ , A ₁₄
A ₆ →	A ₂₀ , A ₃ , A ₈ , A ₄ , A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁₄ , A ₁

З проведеного аналізу можна зробити висновок, що найбільший вплив мають показники, які утворюють НЧ, які пов'язані з транспортними факторами:

- A₁₆ (невідповідність РС АП здійснювати перевезення НіВВ);
- A₁₇ (вплив шкідливих НЧ (пил, шум, вібрація, та ін.);
- A₁₅ (незадоволення ергономікою робочого місця водієм);
- і з технічними факторами:
- A₁₀ (відсутність ефективної системи ТОіР ТЗ);
- A₆ (експлуатація технічно несправного ТЗ).

В табл. 8 наведені результати з оцінки ПР виникнення ЛР при здійсненні ВАП НіВВ з урахуванням встановлених за наведеною процедурою причинних НЧ.

Таблиця 8. – Приклад оцінки ЛР від впливу НЧ при здійсненні ВАП НіВВ

Ідентифікація			Ідентифікація НЧ	Визначення рівня ЛР по кожному НЧ та загального ЛР небезпеки при здійсненні ВАП НіВВ		
Небезпека	НП	Негативні наслідки	Вплив на вірогідність настання НП та/або на тяжкість наслідків НП від НЧ	Вірогідність настання НП від НЧ - <i>i</i>	Ступень тяжкості від настання НП від НЧ - <i>j</i>	Рівень ЛР
ЛР при здійсненні ВАП НіВВ	Невідповідність ТЗ ваговим властивостям НіВВ	Неможливість виконання договірних зобов'язань перед вантажоотримувачем в наслідку неможливості виконання ВАП НіВВ	A ₁₆ (Невідповідність РС АП здійснювати перевезення НіВВ)	7	8	56
			A ₁₇ (Невідповідність РС АП здійснювати перевезення НіВВ)	8	9	72
			A ₁₅ (Незадоволення ергономікою робочого місця водієм)	7	6	42
			A ₁₀ (Відсутність ефективної системи ТОіР ТЗ)	7	7	49
			A ₆ (Експлуатація технічно несправного ТЗ)	8	8	64
			Загальний первинний негативний ЛР небезпеки <i>j</i> від всіх <i>n</i> НЧ	283		

Висновки. Для зменшення впливу або усунення ЛР має бути враховано впровадження управлінських рішень, які спрямовані на оновлення РС АП, відповідної професійної підготовки водіїв і вдосконалення системи організації перевезення НіВВ – які є найбільш впливовими НЧ на величину ЛР. В сукупності, це є фундаментом для впровадження дієвих запобіжних заходів.

За результатами проведеного дослідження виявлено п'ять основних причинних НЧ, що дозволяє в подальшому ретельніше провести дослідження саме цих причинних НЧ. Для цього слід звернути увагу вже на розвиток НП, оцінити дієвість усіх існуючих засобів контролю. 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. У цьому випадку виявлення найбільш ефективних і найбільш уражених критерій і розміри ЛР виконуються з більшою точністю. Тому виявлення та контроль усіх НЧ для зменшення запропоновано два сприятливих результати зменшення шкоди та призначення більшої частки бажаним результатам.

ЛІТЕРАТУРА

1. Римар, З.І. (2019). Перспективи вітроенергетики в Україні. [Електронний ресурс]. Вінницький національний технічний університет. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-ebmd/all-ebmd2019/paper/download/7220/6074>.

2. Аналіз та перспективи впровадження вітрових електростанцій. [Електронний ресурс] // Портал молодих науковців ВНТУ. - 2020. - Режим доступу: <http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/0938F1ED3F69-4E84-92F8-5E97A1871E7A.pdf>.
3. Pantsyr, Y., Garasymchuk, I., Duganets, V., Melnyk, M., Yurchenko, O. Current state and prospects of wind energy development in Ukraine. E3S Web of Conferences 154, 06004 (2020), ICoRES 2019, Pp. 1-9. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015406004>.
4. Sesto, E. (1999). Wind energy in the world: Reality and prospects. Renewable Energy, 16(1-4), 888-893. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00298-5](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00298-5).
5. Joseph, L., Standen, M., Paungmali, A., Kuisma, R., Silitertpisan, P., Pirunsan, U. (2020). Prevalence of musculoskeletal pain among professional drivers: A systematic review. Journal of Occupational Health, 62, 1-17. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12150>.
6. Kose, Y., Karabayir, A.N., Cevikcan E. (2020). The Quick Exposure Check (QEC) Model Proposal Based on Fuzzy Logic for Work-Related Musculoskeletal Risk Assessment. In: Kahraman, C., Cebi, S., Cevik Onar, S., Oztaysi, B., Tolga, A., & Sari, I. Intelligent and Fuzzy Techniques in Big Data Analytics and Decision Making. INFUS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1029. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23756-1_12.
7. Borodina, N., Cheberiyachko, S., Deryugin O., Tretyak, O., & Bas, I. (2021). Occupational risk assessment of passenger bus drivers. Journal of Scientific Papers «Social Development and Security», 11(2), 81-90. <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.2.8>.
8. 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>.
9. Tsopa V., Cheberiyachko 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>.
10. Tsopa, V., Borodina, N., Cheberiyachko, S., Deryugin, O., Hilpert, V., & Borovytskyi, O. (2022). Assessment of professional risks of the driver of a technological truck for forestry conditions. Journal of Scientific Papers "Social Development and Security", 12(5), 67-84. <https://doi.org/10.33445/sds.2022.12.5.7>.
11. Zhanbirov, Z., Deryugin, O., Toktamysova, A., Agabekova, D., Arkhirei, M. (2023). Research on the impact of cognitive biases of workers on the subjective assessment of occupational risk. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 1, 136-141. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/136>.