

## ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА CIVIL SAFETY

UDC 656.02

**Vitaliy Tsopa<sup>1</sup>**, Doctor of Technical Sciences, Professor  
ORCID ID: 0000-0002-4811-3712 *e-mail*: dr.tsopav@gmail.com

**Serhii Cheberiachko<sup>2</sup>**, Doctor of Technical Sciences, Professor  
ORCID ID: 0000-0001-5866-4393 *e-mail*: cheberiachkoyi@ukr.net

**Olena Yavorska<sup>2</sup>**, Candidate of Technical Science, Professor  
ORCID ID: 0000-0001-5516-5310 *e-mail*: elenayavorska80@gmail.com

**Tetiana Nehrii<sup>3</sup>**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
ORCID ID: 0000-0002-4239-3178 *e-mail*: tetiana.nehrii@donntu.edu.ua

**Tetiana Tkachenko<sup>3</sup>**, Doctor of Technical Sciences, Professor  
ORCID ID: 0000-0003-2105-595 *e-mail*: tkachenkoknuba@gmail.com

**Oleg Deryugin<sup>2</sup>**, Candidate of Technical Science, Associate Professor  
ORCID ID: 0000-0002-2456-7664 *e-mail*: deryugin\_o@ukr.net

<sup>1</sup>International Management Institute, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

<sup>3</sup>Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

### FEATURES OF THE ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL RISKS IN TRUCK TRANSPORTATION

***Abstract.** The purpose of the article is to develop a process of managing the professional (dynamic) risks in freight transportation due to changes in time of dangerous factors.*

*To build the process of managing the professional (dynamic) risks of truck transportation, the main principles of system dynamics using the "tie-butterfly" model for establishment the causal and reciprocal relationships between dangerous factors affecting the drive were used.*

*A model of the connection of dangerous factors of the internal and external environment of the organization, related to their negative impact on the increase in the probability of the occurrence of a dangerous event (incident) and the degree of severity over time, has been developed. Based on the interaction of the probability of the occurrence of a dangerous event and the severity of the consequences, taking into account changes in the physical and psychological state of the driver, it became possible to develop a dynamic model for assessing the driver's professional risk. Changes in professional (dynamic) risks during the time of a truck driver are*

proposed for analysis: by hours of the day (from 00:00-24:00 hours); by days of the week (Monday, Tuesday, Wednesday, Thursday, Friday, Saturday, Sunday); by season (spring, summer, autumn, winter). Taking into account the interaction of three main components: the presence of a threat or danger, the interaction between a truck and a person, the presence of a catalyst (physical and psychological state of the driver), the amount of professional risk is determined. To check the adequacy of the assessments, taking into account the change in the influence of dangerous factors on the probability of the occurrence of a dangerous event and the degree of severity of injuries from it with a time, an algorithm that allows to monitor every step in the management of professional risks was developed. It was established that an unacceptable level of risk is fixed at night and in winter, under inappropriate climatic conditions, which requires the development of effective safety precautions. The scientific novelty consists in the justification of a dynamic model from assessing the professional risk of a driver, based on the interaction of the probability of the occurrence of a dangerous event and the severity of the consequences, taking into account changes in the physical and psychological state of the driver. The practical significance lies in the development of forms for assessing the driver's professional risk.

**Key words:** labor safety; occupational risk; risk assessment; traffic accident; dynamic model.

**В.А. Цопа<sup>1</sup>, С.І. Чеберячко<sup>2</sup>, О.О. Яворська<sup>2</sup>, Т.О. Негрій<sup>3</sup>, Т.М. Ткаченко<sup>3</sup>, О.В. Дерюгін<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Міжнародний інститут менеджменту, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна

<sup>3</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

## **ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ ПРИ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ**

**Анотація.** Метою статті є розробка процесу керування професійними (динамічними) ризиками при вантажних перевезеннях через зміни в часі небезпечних чинників.

Для побудови процесу керування професійними (динамічними) ризиками вантажних автомобільних перевезень використали основні принципи системної динаміки із застосуванням моделі «краватка-метелик» для встановлення причинно-наслідкових та зворотних зв'язків між небезпечними чинниками, що діють на водія.

Розроблена модель зв'язку небезпечних чинників внутрішнього та зовнішнього середовища організації, пов'язаних з їх негативним впливом на зростання вірогідності настання небезпечної події (інциденту) та ступеня тяжкості в часі. Це дозволило розробити на основі взаємодії ймовірності настання небезпечної події та тяжкості наслідків, з урахуванням зміни фізичного і психологічного стану водія, динамічну модель оцінки професійного ризику водія. Для аналізу запропоновано зміни професійних (динамічних) ризиків в часі водія вантажного автомобіля: за годинами доби (з 00.00-24.00 години); за днями тижня (понеділок, вівторок, середа, четвер, п'ятниця, субота, неділя); за сезоном року (весна, літо, осінь, зима). З урахуванням взаємодії трьох основних складових: наявності загрози чи небезпеки, взаємодії між вантажним автомобілем і людиною, наявності каталізатора (фізичний і психологічний стан водія) проводиться визначення величини професійного ризику. Для перевірки адекватності проведених оцінок, з урахуванням зміни

*впливу небезпечних чинників на вірогідність настання небезпечної події та ступеня тяжкості травм від неї з урахуванням часу, розроблено алгоритм, який дозволяє відслідкувати кожен крок керування професійними ризиками. Встановлено, що неприйнятний рівень ризику фіксується в нічну пору доби та в зимовий час, при невідповідних кліматичних умовах, що потребує розробки дієвих запобіжних заходів з безпеки.*

*Наукова новизна полягає в обґрунтуванні динамічної моделі з оцінки професійного ризику водія на основі взаємодії ймовірності настання небезпечної події та тяжкості наслідків з урахуванням зміни фізичного і психологічного стану водія.*

*Практичне значення полягає у розробці форм оцінки професійного ризику водія.*

**Ключові слова:** безпека праці; професійний ризик; оцінка ризику; дорожньо-транспортна пригода; динамічна модель.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.2.85-99>

## Вступ

Безпека вантажних автомобільних перевезень (далі – ВАП) є важливою складовою загальної системи управління безпеки дорожнього руху будь-якого автотранспортного підприємства, яка спрямована на збереження здоров'я і життя водіїв і ефективне використання автомобільного парку для здійснення транспортної діяльності. Основою такої системи безпеки є оцінка професійних ризиків: виявлення загроз і небезпек, які виникають у процесі транспортної діяльності, та пошук і прийняття управлінських рішень, які спрямовані для їх контролю, управління з метою мінімізації на всіх етапах ВАП.

Для виконання зазначеної процедури дослідження професійних ризиків найбільш часто застосовуються методи структурної декомпозиції, наприклад: дерево відмов, дерево рішень, дерево ймовірностей; метод експертного дослідження в основному включає: метод мозкового штурму, метод Delphi та ін. [1, 2, 3, 4]. Обидва зазначених методи дозволяють провести досить якісний аналіз професійних ризиків, але без урахування взаємодії небезпечних факторів у часі. Справа в тому, що складні обставини праці водіїв при керуванні автомобілем характеризуються впливом факторів, які поєднують експлуатаційні властивості автомобіля, дорожні, кліматичні умови, а також проявом взаємозалежних екстремальних ситуацій в часто змінних обставинах дорожнього руху, що потребує підбору відповідних методів з оцінки ризиків виникнення дорожньо-транспортної пригоди (далі – ДТП), які б дозволили зменшити невизначеність розрахунків ризику.

Одним із таких підходів є імітаційний метод моделювання процесу ризику скоєння ДТП за допомогою системної динаміки, який дозволяє побачити сутність різносторонніх процесів, що характеризують ВАП, й ефективно управляти ними на основі виявлення зворотних зв'язків, які відображають істотні властивості модельованого процесу [5, 6, 7]. Таким чином, з'являється досить актуальна задача у встановленні причинно-наслідкових зв'язків між різними складовими процесу ВАП для ілюстрації взаємодії небезпечних факторів і загроз, що впливають на його безпеку, для виявлення прогностичних тенденцій розвитку різних сценаріїв і їх впливу на господарську, фінансову і транспортну діяльність автотранспортного підприємства.

## Аналіз літературних джерел

Тема безпеки ВАП є досить актуальною. Про це свідчить значна кількість різних наукових публікацій, які різносторонньо розглядають дане питання. Так, за словами авторів роботи [8], Україна приречена приділяти пильну увагу питанням транспортної безпеки та створенню найкращих умов для функціонування єдиного європейського ринку шляхом формування мультимодальної Транс'європейської транспортної мережі (TEN-T). Бачення автора статті фокусується на необхідності входження вітчизняної транспортної безпеки до Європейської системи, що вимагає запровадження низки вимог. Однією з таких є удосконалення системи управління безпекою, нагляду й контролю на транспорті відповідно до міжнародних стандартів на основі оцінки ризиків. Це вимагає побудови відповідних моделей, які дозволять прогнозувати динаміку розвитку системи перевезень. В якості продовження інтеграції до європейської системи транспортної безпеки в нашій країні пропонується удосконалити державно-управлінські функції на основі чіткого дотримання обраних пріоритетів щодо правових, організаційних, матеріальних та інформаційних показників для поєднання зусиль органів державної влади й місцевого самоврядування [9]. Однак в статті не наведено моделі для поєднання цих зусиль, яка дозволить визначити притаманні нашій країні загрози і небезпеки для вітчизняних підприємств.

В статті [10] розглянуто можливість удосконалення системи заходів безпеки в аеропортах завдяки побудові імітаційних моделей для багатьох поширених завдань, з метою оперативного виявлення та усунення можливих загроз. Автори запропонували проводити оцінку ефективності авіаційної безпеки через визначення внутрішніх і зовнішніх факторів, які формують основу для появи небезпечних ситуацій. В той же час, побудова моделі базується на стаціонарних процесах, тобто фактор часу, на жаль, не враховується.

## Мета роботи

Розробити процес керування професійними (динамічними) ризиками через зміни в часі небезпечних чинників при вантажних перевезеннях.

## Матеріали і методи

Для побудови *процесу керування професійними (динамічними) ризиками* ВАП використовуємо основні принципи системної динаміки [11]. Це дозволить встановити причинно-наслідкові зв'язки та петлі зворотних зв'язків між небезпечними чинниками, що діють на водія.

Метод системної динаміки складається з п'яти кроків (табл. 1).

*Перший крок.* Формулювання проблеми, для якої проводиться аналіз ситуації, визначаються дві групи небезпечних чинників, які впливають на безпеку ВАП – зовнішні та внутрішні (рис. 1).

Таблиця 1. Огляд методології системної динаміки

Крок процесу	Мета/Завдання кроку	Опис кроку
Встановлення проблеми	Визначення факторів, межі їх змін, оцінка впливу на процес, опис джерел	Збір даних про об'єкт дослідження: робота зі статистичною документацією, опитування працівників, аналіз поточної ситуації чи відомих моделей
Розробка гіпотези	Пояснення динаміки процесу, що розглядається	Встановлення причинно-наслідкових зв'язків, встановлення структурних зв'язків, відображення зворотних впливів, визначення основних змінних в часі
Побудова моделі	Перехід від якісного опису до кількісного представлення моделі	Побудова моделі, оцінка параметрів, узгодження моделі із прийнятою гіпотезою
Тестування моделі	Визначення адекватності моделі	Порівняння результатів з еталоном чи з експериментальними даними, аналіз невизначеності
Розробка рекомендацій	Встановлення запобіжних заходів, розробка управлінських рішень	Розробка рекомендацій щодо зменшення рівнів ризику



Рис. 1. Модель зв'язку чинників середовища організації, пов'язаних з впливом часу (результат – зміна професійних ризиків)

*Другий крок.* Розробка гіпотези, яка передбачає взаємодію між різними елементами транспортної системи, що визначають професійні ризики. Для цього скористаємось загальновідомою системою "водій – автомобіль – дорога – навколишнє середовище" (далі – "ВАДС"), що пов'яже безліч елементів, які знаходяться у взаємодії один з одним та утворюють певну цілісність, єдність [12].

Відповідно до особливостей системи "ВАДС" були обрані, в якості змінних стану системи для оцінки ризику виникнення ДТП, наступні критерії: психофізіологічний стан водія, тривалість роботи/відпочинку, стаж роботи,

експлуатаційні властивості вантажного автомобіля, технічний стан, строк експлуатації та ін. Також були враховані і допоміжні змінні – спеціальні умови, які характеризують діяльність автотранспортного підприємства. Крім того, увага була приділена і впливу кліматичних та дорожніх умов, як-то: зміна погодних умов, наявність опадів, стихійні лиха, наявність заторів, складних розв'язок.

Графік руху, який поєднує час знаходження водія за кермом і відпочинок від керування транспортним засобом, є одним із елементів, який має вирішальне значення, тому до нього теж повернуто увагу під час оцінки ризику виникнення ДТП. Порушення графіка руху може призвести до збільшення ризику виникнення ДТП через перевищення швидкості через зміну психоемоційного стану водія та інше.

*Третій крок.* Будуємо кількісну модель оцінки динамічних ризиків на основі виявлених механізмів зворотного зв'язку. Для цього скористаємось методом «Краватка-метелик» (рис. 2) з урахуванням впливу часу через певні проміжки, в яких є зміна небезпечних чинників:

1. **За годинами доби:** з 00.00-24.00 години.
2. **За днями тижня:** понеділок, вівторок, середа, четвер, п'ятниця, субота, неділя.
3. **За сезоном року:** весна, літо, осінь, зима.

При цьому величину професійного ризику будемо оцінювати за наступною формулою:

$$R = I(t) \cdot B(t), \tag{1}$$

де  $R$  – ризик виникнення небезпечної події;  $I(t)$  – ймовірність появи небезпеки з урахуванням певного часового проміжку;  $B$  – тяжкість втрати, яка залежить від часу надання допомоги.

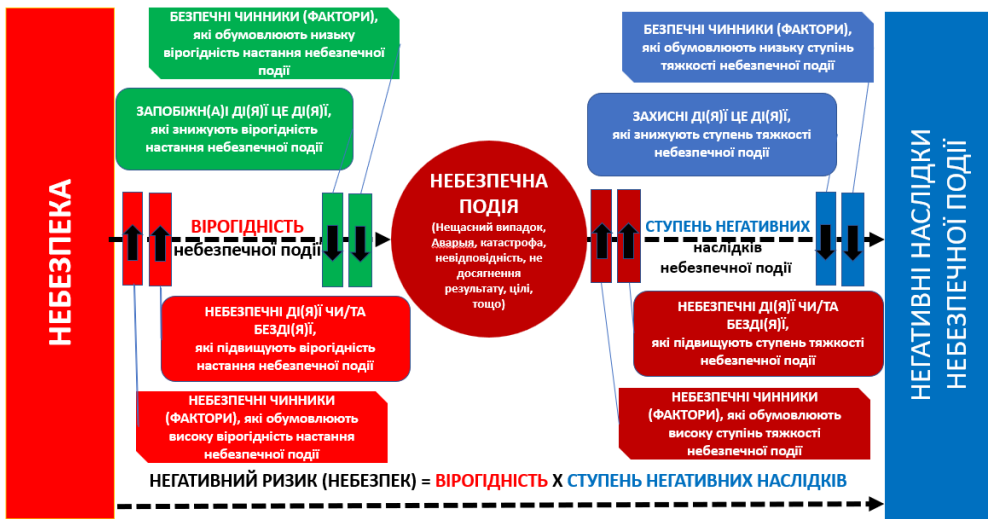


Рис. 2. Модель керування професійними ризиками при зміні чинників зовнішнього та внутрішнього середовища організації в часі

Для оцінки ризику пропонується дещо вдосконалений процес, який, на відміну від класичних підходів, поділяє професійні ризики на три основні типи: прийнятний, прийнятний з перевіркою, неприйнятний (табл. 2).

Таблиця 2. Класифікація професійних ризиків

№	Оцінка ризику	Бали
1	Прийнятний ПР	від 0 до 130
2	Прийнятний ПР з перевіркою	від 131 до 260
3	Неприйнятний ПР	вище 261

Для кожної небезпеки і небезпечної події (далі – НП) можна визначити підсумковий ПР з урахуванням впливу кожного зовнішнього і внутрішнього небезпечного чинника, а для оцінки вірогідності настання НП та ступеня тяжкості можна скористатись 8-бальною шкалою: де 1 – НП не відбувається чи наслідки відсутні, а 8 – НП відбувається постійно протягом визначеного періоду або важкість наслідків (травма чи професійне захворювання) – зі смертельним наслідком. Більш детально про саму шкалу для оцінки ПР можна ознайомитись у роботі [13].

Такий підхід дозволяє оцінити певну ймовірність настання небезпечної події в деякому часовому проміжку, що дозволяє встановити відповідний ступінь тяжкості травм теж в часі.

*Четвертий крок.* Передбачає перевірку реалістичності розробленої моделі з оцінки ризиків – визначення її адекватності. Для забезпечення перевірки адекватності проведених оцінок пропонуємо скористатись алгоритмом, який дозволяє відслідкувати кожен крок з керування професійними ризиками з урахуванням зміни впливу небезпечних чинників на вірогідність настання небезпечної події та ступеня тяжкості травм від неї з урахуванням часу (рис. 3).

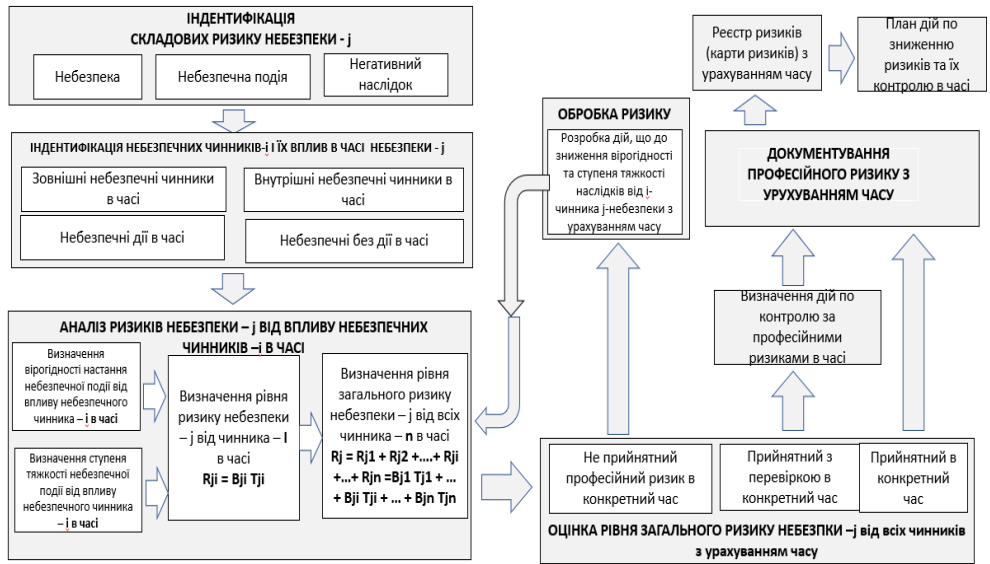


Рис. 3. Процес керування професійними ризиками з урахуванням зміни впливу небезпечних чинників на вірогідність настання небезпечної події та ступеня тяжкості травм від неї з урахуванням часу

*П'ятий крок.* Відбувається розробка рекомендацій щодо усунення чи зменшення наслідків від дії описаної проблеми, відбувається обґрунтування запобіжних заходів щодо їх усунення.

### Результати дослідження

Настання небезпечної події, виникнення ДТП є результатом взаємодії трьох основних складових: наявність загрози чи небезпеки, взаємодія між вантажним автомобілем і людиною і наявність каталізатора. Під каталізатором будемо розуміти певне явище, яке сприяє швидшому розвитку події, що призводять до ДТП.

Неможливе настання ДТП, якщо не існує всіх трьох наведених елементів. Звісно, щоб захистити водія від скоєння ДТП, як правило, найпростіше усунути складову "взаємодія", тобто відмовитись від виконання транспортної роботи з перевезення вантажу. Складніше усунути складову "небезпека", особливо, якщо вона пов'язана з зовнішніми чинниками (погодними умовами, іншими учасниками дорожнього руху, станом доріг та ін.). Однак, найскладніше передбачити складову "каталізатор" (помилку), яка пов'язана з психофізіологічним станом водія, його компетенціями, професіоналізмом, яка може змінюватись з різних причин: настрою, емоційного забарвлення, ергономіки робочого місця, умов праці, добробуту, навантаження, ритму роботи та іншого, що потребує постійного моніторингу. Це вимагає встановлення відповідних взаємозв'язків між ймовірністю і тяжкістю наслідків, щоб відслідкувати відповідні зміни в часі (рис. 4).

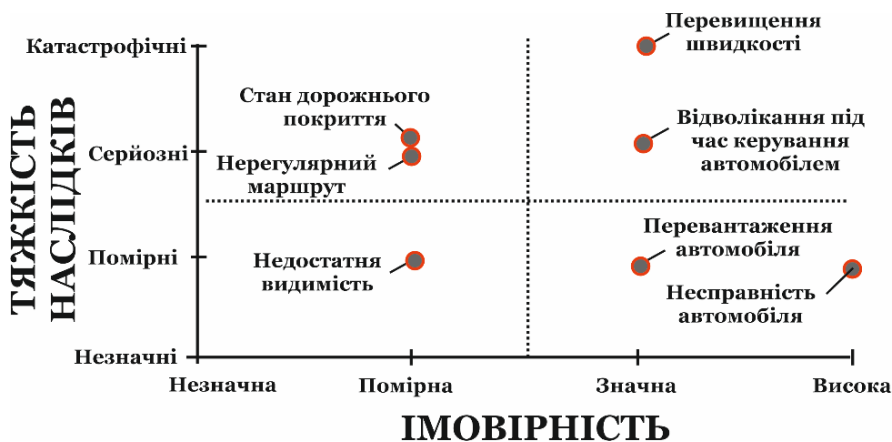


Рис. 4. Матриця з оцінки ризиків виникнення небезпечної події

Крім того, важливо оцінити відношення водія до своєї роботи через показник "частота виникнення порушень" (табл. 3). Виділимо найбільш негативні психологічні стани, які можуть збільшити рівень ризику: байдужість, безпорадність, безвідповідальність, помилка, агресивна поведінка.



Таблиця 3. Кількісні показники для оцінки професійних ризиків

Бали	Частота виникнення	Ймовірність події	Тяжкість наслідків
5	Безперервний вплив	Висока ймовірність інциденту більше 80%	Смертельні: смерть особи
4	Частий вплив, виникає кілька разів на день (тиждень)	Значна ймовірність 50–80%	Серйозні: травми голови, хребта – інвалідність
3	Значний вплив, виникає декілька разів на тиждень (місяць)	Помірна ймовірність від 20–50%	Значні: травми кінцівок, значний термін видужання
2	Помірний вплив – декілька разів на місяць	Певна ймовірність 10–20%	Помірні: втрата працездатності до місяця, розтягування м'язів, сухожилів
1	Незначний вплив – відбувається зрідка	Малоймовірний інцидент 2–10%	Незначні: подряпини, садна, забиття, втрата працездатності на декілька днів

Для процесу динамічної оцінки професійних ризиків необхідно побудувати взаємодію між різними елементами транспортної системи (рис. 5), яка дозволяє встановити зміну кожного небезпечного чинника в часі.

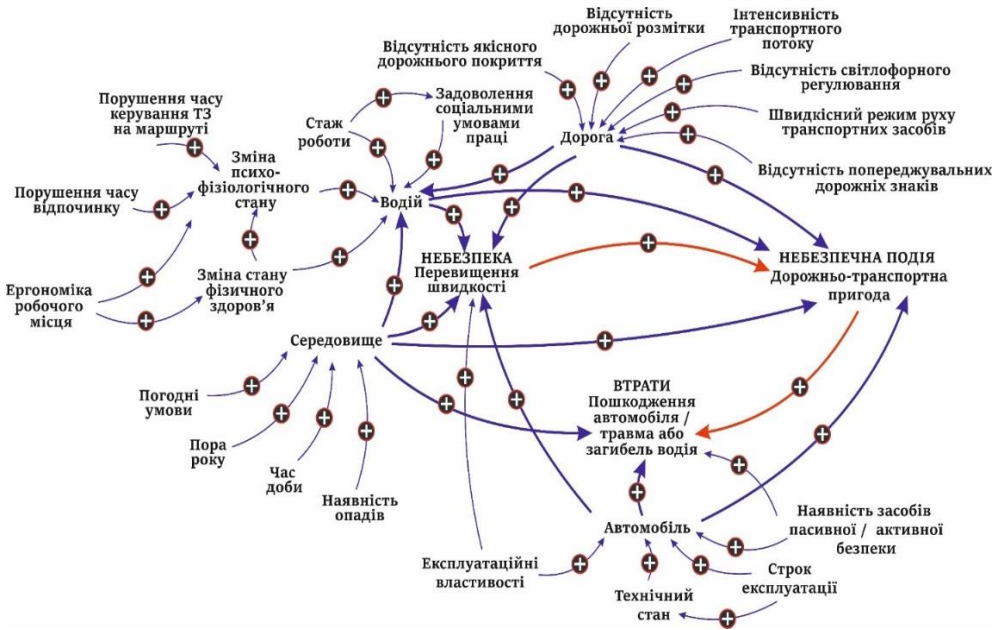


Рис. 5. Динамічна модель оцінки професійного ризику водія

Наступним кроком є визначення величини професійного ризику водія, яка побудована на основі взаємодії ймовірності настання небезпечної події та тяжкості наслідків з урахуванням зміни фізичного і психологічного стану водія, що наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Ідентифікація небезпек, оцінка професійного ризику водія

№	Ідентифікація				Первинний аналіз – визначення впливу небезпечного чинника в часі			Первинна оцінка	
	Небезпека	Небезпечна подія	Негативні наслідки	Небезпечний чинник	Вірогідність настання небезпечної події	Ступінь тяжкості негативних наслідків небезпечної події	Професійний ризик		
влітку									
1	Автомобіль, що рухається	ДТП	Травма або захворювання	Зміна психологічного стану	1	9	9	Прийнятний	
				Зміна фізичного стану	1	9	9	Прийнятний	
				Зміна кліматичних умов	3	2	6	Прийнятний	
				Зміна умов на дорозі	4	4	16	Прийнятний	
				Перевищення швидкості	1	9	9	Прийнятний	
				Технічний стан авто					
				Нерегулярний маршрут					
				Оцінка загального професійного ризику			49	Прийнятний	
взимку									
2	Автомобіль, що рухається	ДТП	Травма або захворювання	Зміна психологічного стану	9	9	81	Неприйнятний	
				Зміна фізичного стану	7	9	63	Неприйнятний	
				Зміна кліматичних умов	4	3	12	Прийнятний	
				Зміна умов на дорозі	7	4	28	Прийнятний	
				Перевищення швидкості	2	9	18	Прийнятний	
				Оцінка загального професійного ризику			202	Неприйнятний	
За годинами доби									
3	Автомобіль, що рухається	ДТП	Травма або захворювання	Зміна фізичного і психологічного стану водія	14.00-18.00	1	9	9	Прийнятний
					18.00-21.00	2	9	18	Прийнятний
					21.00-24.00	3	9	27	Прийнятний
					00.00-3.00	7	9	63	Неприйнятний
				03.00-06.00	9	9	81	Неприйнятний	
Оцінка загального професійного ризику				Неприйнятний					
За порою доби									
4	Автомобіль, що рухається	ДТП	Травма або захворювання	Зміна кліматичних умов праці	влітку	1	9	9	Прийнятний
					взимку	2	9	18	Прийнятний
					восени	3	9	27	Прийнятний
					навесні	7	9	63	Неприйнятний
Оцінка загального професійного ризику				Неприйнятний					

### Обговорення

Розроблена для використання модель зв'язку небезпечних чинників внутрішнього та зовнішнього середовища організації, пов'язаних з їх

негативним впливом на зростання вірогідності настання небезпечної події (інциденту) та ступеня тяжкості в часі, дозволяє передбачити невідомі стани "каталізатора" (фізичного і психічного стану водія) на основі доступної інформації про якість професійної діяльності. Процес прогнозування пов'язаний з невизначеністю, насамперед, появи небезпечної події через зміну відношення в часі, що дозволяє розглянути різні можливі альтернативні сценарії (можливі сценарії поведінки) для уникнення настання ДТП [14]. Запропонований підхід дозволяє оцінити рівень професійного ризику з урахуванням всіх видів появи цих можливих сценаріїв розвитку подій. При цьому значно посилюється достовірність отриманих результатів аналізу зміни професійних (динамічних) ризиків в часі: за годинами доби, за днями тижня, за сезоном року, на що також звертають увагу автори роботи. Причому відмічається, що сезонна динаміка впливає на економічні показники, ефективність роботи [15].

Вказана особливість запропонованого підходу, що виражається через взаємодію трьох основних складових: наявності загрози чи небезпеки, взаємодії між вантажним автомобілем і людиною, впливу фізичного і психологічного стану водія, дозволяє побудувати матрицю, яка визначає залежність тяжкості наслідків від настання небезпечної події, що є основою динамічної моделі оцінки професійного ризику водія [16]. В свою чергу, такий підхід має ряд переваг над стаціонарними моделями, які не дозволяють врахувати можливість зміни відношення водія в часі, тобто виявити вплив на появу помилки чи, навпаки, уникнення аварійної ситуації. Це, в свою чергу, збільшить невідповідність розрахунків. Припустимо, що існує небезпека «технічно несправний автомобіль» – ймовірність настання ДТП при цьому складає  $I_2$ , тоді з урахуванням позитивного/негативного відношення водіїв до виконання своїх обов'язків ця ймовірність буде дорівнювати  $I_2 \pm \Delta$ .  $\Delta$  – це величина ймовірності або уникнення, або навпаки, настання небезпечної події через обережні/невмілі дії водія під час управління автомобілем. Тобто існує якась базова ймовірність виникнення ДТП через технічно несправний автомобіль, величина якої не залежить від людського чинника. В свою чергу, відношення людини до виконання свої обов'язків є додатковим фактором, який або збільшує ймовірність настання ДТП, або навпаки, його зменшить [17]. Так, ймовірність помилки при управлінні автомобілем зменшується через збільшення рівня уваги, зосередженості, відповідальності, що сприяє зменшенню ймовірності небезпеки та готовності водія до різного розвитку подій. З іншого боку, вона може збільшитись через прояв сильних емоцій, появу втоми, наявності ризикованої поведінки, безрозсудність, байдужість, самовпевненість. В такому випадку для розрахунку ймовірності ДТП можна використати формулу Байєса [18]. Наприклад, якщо ймовірність ДТП від технічно несправного автомобіля складає  $I_1$ , а від зробленої помилки водієм –  $C_1$ , то ймовірність настання ДТП від технічно несправного автомобіля за умови, що водій зробить помилку, можна розрахувати як

$$I(I_1 / C_1) = \frac{I(C_1 / I_1) \cdot I(I_1)}{I(C_1)}, \quad (2)$$

де  $I(C_1 / I_1)$  – ймовірність настання умовної події при впливі помилки;  $I(C_1)$  – ймовірність настання події без впливу помилки.

Отримані оцінки величини професійних ризиків при зазначеному підході потребують постійної перевірки, що дозволяє виконати запропонований алгоритм, в якому передбачено зворотний зв'язок, що пов'язаний зі зміною впливу небезпечних чинників на вірогідність настання небезпечної події та ступеня тяжкості. Причому такий підхід дозволяє розглянути декілька можливих сценаріїв, що значно зменшить невизначеність оцінок.

## Висновки

1. Розроблена та рекомендується для використання модель зв'язку небезпечних чинників внутрішнього та зовнішнього середовища організації, пов'язаних з їх негативним впливом на зростання вірогідності настання небезпечної події (інциденту) та ступеня тяжкості в часі.

2. Запропоновано для аналізу зміни професійних (динамічних) ризиків в часі водія вантажного автомобіля, якими є зміна небезпечних чинників: за годинами доби: з 00.00-24.00 години; за днями тижня: понеділок, вівторок, середа, четвер, п'ятниця, субота, неділя; за сезоном року: весна, літо, осінь, зима.

3. Пропонується для визначення ризику настання ДТП враховувати взаємодію трьох основних складових: наявності загрози чи небезпеки, взаємодії між вантажним автомобілем і людиною і наявності каталізатора – фізичний і психологічний стан водія.

4. Розроблено для перевірки адекватності проведених оцінок алгоритм, який дозволяє відслідкувати кожен крок з керування професійними ризиками з урахуванням зміни впливу небезпечних чинників на вірогідність настання небезпечної події та ступеня тяжкості травм від неї з урахуванням часу.

5. Виходячи із взаємодії ймовірності настання небезпечної події та тяжкості наслідків з урахуванням зміни фізичного і психологічного стану водія, побудовано динамічну модель оцінки професійного ризику водія.

6. Встановлено, що неприйнятний рівень ризику фіксується в нічну пору доби та в зимовий час при невідповідних кліматичних умовах, що потребує розробки дієвих запобіжних заходів з безпеки.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Rasmussen J., Svedung I. Proactive Risk Management in a Dynamic Society. Karlstad, Sweden: Swedish Rescue Services Agency, 2000. 144 p. ISBN: 91-7253-084-7.
2. Cheng G., Cheng R., Zhang S., Sun X. Risk evaluation method for highway roadside accidents. *Advances in Mechanical Engineering*, 2019, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.1177%2F1687814018821743>
3. Kizito Alex, Semwanga A.R. Modeling the Complexity of Road Accidents Prevention: A System Dynamics Approach. *International Journal of System Dynamics Applications*, 2020, 9(2), 24-41. <https://doi.org/10.4018/IJSDA.2020040102>
4. Goh Y.M., Love P.E.D., Stagbouer G., Annesley C. Dynamics of safety performance and culture: A group model building approach. *Accident Analysis and Prevention*, 2012, 48, 118-125. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.05.010>
5. Zhu, Y.J. (2011) The Basis and Method for Engineering Project Risk Identification. *Modern Enterprise*, 9, 24-25.
6. Xu, G.Q. and Zou, J. (2006) The Method of System Dynamics: Principle, Characteristics and New Development. *Journal of Harbin Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 8, 72-77.

7. Wan J., Liu Y. (2014). A System Dynamics Model for Risk Analysis during Project Construction Process. *Open Journal of Social Sciences*, 2(6), 451-454. <http://dx.doi.org/10.4236/jss.2014.26052>
8. Фердман Г.П. (2020). Деякі пропозиції щодо входження транспортної безпеки України до європейської системи безпеки на транспорті. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Державне управління*, 31(70), №4, 134-139. <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-6468/2020.4/21>
9. Tsopa V., Cheberiachko S., Yavorska O., Deryugin O., Bas I. Increasing the safety of the transport process by minimizing the professional risk of a dump truck driver. *Mining of mineral deposits*, 2022, 16(3), 101-108. <https://doi.org/10.33271/mining16.03.101>
10. Соловійова О.О., Валько А.М. (2020). Передумови впровадження заходів безпеки в аеропорту. *Наукоємні технології*, 46(3), 407-414. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.47.14939>
11. Yao BZ, Yang CY, Yao JB. Tunnel surrounding rock displacement prediction using support vector machine. *Int J Comput Intell Syst* 2010; 3: 843–852.
12. Yu B, Zhu HB, Cai WJ, et al. Two-phase optimization approach to transit hub location – the case of Dalian. *J Transport Geogr* 2013; 33: 62–71.
13. Цопа В. Базова методологія управління ризиками в системах менеджменту. *Охорона праці*. 2018. 1, С. 18-26.
14. Yao BZ, Hu P, Lu XH, et al. Transit network design based on travel time reliability. *Transport Res C Emerg Tech*. Epub ahead of print January 17, 2014.
15. Yu B, Zhang C, Kong L, et al. System dynamics modeling for the land transportation system in a port city. *SIMULATION*. 2014;90(6):706-716. doi:10.1177/0037549714533619
16. G. Yao, H. Huang, H. Sun, J. Wei and G. Sun, "The whole vehicle system dynamics modeling and simulation for transportation vehicle," 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, 2010, pp. 698-701, <https://doi.org/10.1109/MACE.2010.5536044>
17. Tavakkolimoghaddam, S., Hadji Molana, S.M., Javadi, M. and Azizi, A. (2022), "System dynamics model for intra-city multimodal transportation considering behavioral indicators and demand under uncertainty conditions", *Journal of Advances in Management Research*, Vol. 19 No. 4, pp. 533-559. <https://doi.org/10.1108/JAMR-07-2021-0249>
18. А.І. Старіков, О.О. Соларьов, М.О. Мікуліна, Н.В. Тарельник, О.В. Таценко, Використання різних підходів до розв'язання логістичних задач, *Вісник Вінницького політехнічного інституту: № 4 (2021)*. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-157-4-85-91>

*Стаття надійшла до редакції 10.02.2023 і прийнята до друку після рецензування 01.06.2023*

## REFERENCES

1. Rasmussen, J., & Svedung, I. (2000). *Proactive Risk Management in a Dynamic Society*. Karlstad, Sweden: Swedish Rescue Services Agency. ISBN: 91-7253-084-7.
2. Cheng, G., Cheng, R., Zhang, S., & Sun, X. (2019). Risk evaluation method for highway roadside accidents. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.1177%2F1687814018821743>
3. Kizito, A., & Semwanga, A.R. (2020). Modeling the Complexity of Road Accidents Prevention: A System Dynamics Approach. *International Journal of System Dynamics Applications*, 9(2), 24-41. <https://doi.org/10.4018/IJSDA.2020040102>
4. Goh, Y.M., Love, P.E.D., Stagbouer, G., & Annesley, C. (2012). Dynamics of safety performance and culture: A group model building approach. *Accident Analysis and Prevention*, 48, 118-125. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.05.010>
5. Zhu, Y.J. (2011). The Basis and Method for Engineering Project Risk Identification. *Modern Enterprise*, 9, 24-25.

6. Xu, G.Q. & Zou, J. (2006). The Method of System Dynamics: Principle, Characteristics and New Development. *Journal of Harbin Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 8, 72-77.
7. Wan, J., & Liu, Y. (2014). A System Dynamics Model for Risk Analysis during Project Construction Process. *Open Journal of Social Sciences*, 2(6), 451-454. <http://dx.doi.org/10.4236/jss.2014.26052>
8. Ferdman, G.P. (2020). Some proposals for the accession of Ukraine's transport security to the European transport security system. *Journal Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University*, series «Public Management and Administration», 31(70), №4, 134-139 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-6468/2020.4/21>
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. Soloviova, O., & Valko, A. (2020). Prerequisites for implementing security measures at the airport. *Science-based technologies*, 46(3), 407-414 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.47.14939>
11. Yao, BZ, Yang, CY, & Yao, JB. (2010). Tunnel surrounding rock displacement prediction using support vector machine. *Int J Comput Intell Syst*, 3, 843-852.
12. Yu, B, Zhu, HB, Cai, WJ, et al. (2013). Two-phase optimization approach to transit hub location – the case of Dalian. *J Transport Geogr*, 33, 62-71.
13. Tsopa, V. (2018). Basic methodology of risk management in management systems. *Okhrona pratsi*, 1, 18-26 [in Ukrainian].
14. Yao, BZ, Hu, P, Lu, XH, et al. (2014). Transit network design based on travel time reliability. *Transport Res C Emerg Tech*.
15. Yu, B, Zhang, C, Kong, L, et al. (2014). System dynamics modeling for the land transportation system in a port city. *SIMULATION*, 90(6), 706-716. <https://doi.org/10.1177/0037549714533619>
16. Yao, G., Huang, H., Sun, H., Wei, J. & Sun, G. (2010). The whole vehicle system dynamics modeling and simulation for transportation vehicle. In *International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering* (pp. 698-701). <https://doi.org/10.1109/MACE.2010.5536044>
17. Tavakkolmoghadam, S., Hadji Molana, S.M., Javadi, M. & Azizi, A. (2022). System dynamics model for intra-city multimodal transportation considering behavioral indicators and demand under uncertainty conditions. *Journal of Advances in Management Research*, 19(4), 533-559. <https://doi.org/10.1108/JAMR-07-2021-0249>
18. Starikov, A.I., Solarov, O.O., Mikulina, M.O., Tarelnyk, N.V. & Tatsenko, O.V. (2021). Using Different Approaches to Solving Logistics Tasks. *Visnyk VPI*, 4, 85-91 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-157-4-85-91>

*The article was received 10.02.2023 and was accepted after revision 01.06.2023*

### **Цопа Віталій Андрійович**

доктор технічних наук, професор кафедри менеджменту, Міжнародний інститут менеджменту

**Адреса робоча:** вул. Шулявська, 10/12, м. Київ, Україна, 04116

**ORCID ID:** 0000-0002-4811-3712 **e-mail:** dr.tsopav@gmail.com

### **Чеберячко Сергій Іванович**

доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"

**Адреса робоча:** пр. Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

**ORCID ID:** 0000-0001-7307-1553 **e-mail:** cheberiyachkoyi@ukr.net

**Яворська Олена Олександрівна**

канд. техн. наук, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"

**Адреса робоча:** пр. Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID ID: 0000-0001-5516-5310 **e-mail:** elenayavorska80@gmail.com

**Негрій Тетяна Олександрівна**

кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, Київський національний університет будівництва і архітектури

**Адреса робоча:** пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03037

ORCID ID: 0000-0002-4239-3178 **e-mail:** tetiana.nehrii@gmail.com

**Ткаченко Тетяна Миколаївна**

доктор технічних наук, професор кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, Київський національний університет будівництва і архітектури

**Адреса робоча:** пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03037

ORCID ID: 0000-0002-6215-3438 **e-mail:** tkachenkoknuba@gmail.com

**Дерюгін Олег Валентинович**

канд. техн. наук, доцент кафедри управління на транспорті, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"

**Адреса робоча:** пр. Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID ID: 0000-0002-2456-7664 **e-mail:** deryugin\_o@ukr.net