

Національний університет біоресурсів і  
природокористування України  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра транспортних технологій та засобів у АПК

Академія прикладних наук Університету  
управління та адміністрування в Ополі

Академія інженерних наук України  
Українська асоціація аграрних інженерів



**ЗБІРНИК ТЕЗ  
доповідей  
IX Міжнародної  
науково-практичної конференції  
«Автомобільний транспорт та інфраструктура»**



AutoTransport and Infrastructure

**23-25 квітня 2026 року  
м. Київ**

**УДК 631.17+62-52-631.3**

*Рекомендовано до друку рішенням вченої ради механіко-технологічного факультету Національного університету біоресурсів і природокористування України від 19 травня 2026 р., протокол № 4.*

Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура» (23–25 квітня 2026 року). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2026. 294.

ISBN 978-617-8928-31-5

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, докторантів і аспірантів, студентів, фахівців транспортної галузі, учасників ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура», в яких розглядаються нинішній стан та шляхи розвитку автотранспортної галузі.

ISBN 978-617-8928-31-5

© НУБіП України, 2026.

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ:**

**Тонха О.Л.**, проректор з наукової роботи та інноваційної діяльності – голова організаційного комітету;

**Отченашко В.В.**, начальник науково-дослідної частини – співголова організаційного комітету;

**Братішко В. В.**, декан механіко-технологічного факультету – співголова організаційного комітету;

**Киричок П.О.**, президент Академії інженерних наук України – співголова організаційного комітету (за згодою);

**Покуса Т.**, проректор Академії прикладних наук Університету управління та адміністрування в Ополе (Польща) – співголова організаційного комітету (за згодою);

**Леланд Р.**, професор університету Орала Робертса (США) співголова організаційного комітету (за згодою);

**Дашдаміров Ф.С.**, директор Інституту логістики і транспорту Азербайджанського технічного університету (Азейрбайджан) – співголова організаційного комітету (за згодою);

**Загурський О.М.**, професор кафедри транспортних технологій та засобів у АПК – секретар організаційного комітету.

Члени організаційного комітету:

**Дьомін О.А.**, доцент кафедри транспортних технологій та засобів у АПК;

**Калінін Є. І.**, завідувач кафедри тракторів та автомобілів;

**Лаурешин А.** заступник завідувача кафедри технологій та суспільства Інженерного факультету Лундського університету (Швеція);

**Мацюк В. І.**, професор кафедри транспортних технологій та засобів у АПК;

**Навицький А.В.**, завідувач кафедри надійності техніки;

**Навицький П.**, професор університету Орала Робертса (США);

**Роговський І.Л.**, декан факультет конструювання та дизайну;

**Савченко Л.А.**, завідувачка кафедри транспортних технологій та засобів у АПК;

**Софі Лю**, професор Університету Орала Робертса (США);

**Степанов О.В.** заступник декана з наукової роботи механіко-технологічного факультету;

**Шатров Р.В.**, завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка.

**Ястремська-Кравченко О.**, спеціалістка з транспортного планування відділу мобільності муніципалітету Мальме (Швеція).

**СЕКЦІЯ**  
**ТРАНСПОРТНА ПОЛІТИКА ТА УПРАВЛІННЯ АВТОТРАНСПОРТНИМ**  
**ГОСПОДАРСТВОМ**

УДК 656.13:330.341

**ІНСТИТУЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЯКОСТІ**  
**МОДЕРНІЗАЦІЇ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

**Загурський Олег Миколайович** д.е.н., професор,  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ*  
E-mail: zagurskiy@nubip.edu.ua

У більшості країн світу транспортна інфраструктура є частиною державного майна, яке має надаватися як суспільне благо, а не як господарська діяльність, спрямована на отримання комерційної вигоди. Однак незалежно від того, що лежить в основі – мотивований політичний компроміс або більш інтуїтивне культурне сприйняття – в більшості країн світу більша частина базової транспортної інфраструктури знаходиться у власності і під управлінням держави, включаючи національні та місцеві органи влади. До числа таких об'єктів інфраструктури відносяться практично всі автомобільні дороги, внутрішні водні шляхи, повітряний простір, судноплавні канали, більшість об'єктів базової портової і аеропортової інфраструктури, метрополітен, трамвайні мережі і практично вся залізнична інфраструктура на чотирьох з п'яти континентів (винятком є американський континент). Однак приватний сектор бере активну участь у всіх перерахованих сферах, надаючи конструкторів і підрядників для будівництва нових і утримання існуючих об'єктів.

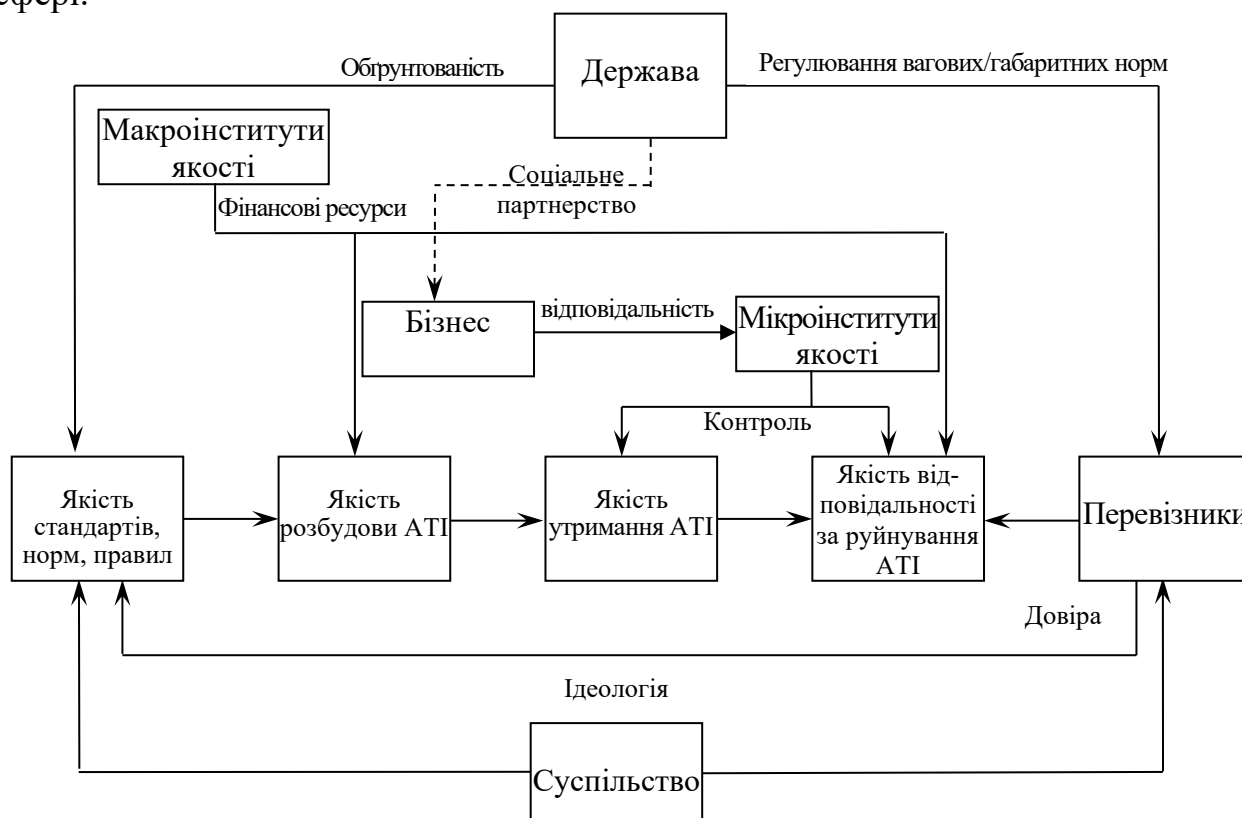
Зростання самосвідомості обумовлює об'єднання усіх учасників ринку транспортних послуг у пошуку спільних правил і форм підтримки автотранспортної інфраструктури та спонукає їх до соціального партнерства. Відповідно наразі стоїть завдання з налагодження соціального компромісу між державою, бізнесом, перевізниками та населенням країни в особі органів місцевого самоврядування, громадських організацій, профспілок тощо. Такий компроміс сприятиме створенню гібридних форм взаємодії, заснованих на консолідованій (спільній) соціальній відповідальності, яка заперечує домінування індивідуального й колективного егоїзму, натомість передбачає рівноцінну відповідальність усіх учасників соціально-економічних відносин.

Пороте, істотний соціально-економічний ефект від державно-приватного підприємництва в дорожньому господарстві досягається лише при особистій зацікавленості виконавця робіт в забезпеченні рівня споживчих властивостей автомобільної дороги, закріпленого в угоді. Оцінка споживчих властивостей дає можливість виконавцю контролювати якість своєї роботи і ставити конкретні завдання по підтримці рівня заданих показників. Замовник в рамках своїх повноважень, передбачених угодою оцінює роботу виконавця завдяки існуванню методик оцінки рівня споживчих властивостей автомобільної дороги.

Тому, процеси модернізації економіки України до європейських стандартів, у тому числі і її автотранспортної галузі, мають спонукати економічних агентів до появи на рівні самосвідомості бажання підтримувати суспільні цінності, інтереси та стандарти поведінки.

Застосування визначених принципів передбачає високу якість усього процесу модернізації автотранспортної інфраструктури. Якість у даному випадку, на наш погляд, включає обґрунтованість прийнятих управлінських рішень, систему планування і фінансового забезпечення, ефективне використання фінансових ресурсів, інноваційне виробництво та безпосередній контроль технологічних процесів, своєчасне виявлення браку, тощо.

Запропонована інституціональна модель сприятиме прозорості у формуванні державної політики у автотранспортній галузі і контролю за нею, становленню партнерських відносин між державою, бізнесом і суспільством, підвищенню відповідальності перевізників і власників вантажу за збереження об'єктів автотранспортної інфраструктури формуванню довіри суспільства як до якості процесів модернізації галузі так і до роботи контролюючих органів які не тільки інформуватимуть громадськість про вже прийняті рішення, а й сприятимуть процесу її залучення до прийняття управлінських рішень у цій сфері.



\* АТІ – автотранспортна інфраструктура

Рис. 1 Інституціональна модель системи якості модернізації автотранспортної інфраструктури

За такої моделі виникає можливість не лише отримувати синергетичний ефект через створення тих чи інших комбінацій ресурсів, а й забезпечувати розвиток об'єктів інфраструктури й соціальної сфери, що, по суті, призводить до

модифікації природних і трудових ресурсів через зміну їх кількісних та/або якісних характеристик. Адже інфраструктурі належить особлива роль в отриманні синергетичного ефекту від взаємодії бізнесу і держави. Вона сприяє підвищенню ефективності підприємницької діяльності, впливає на розмір витрат і навіть на тип виробництва та спричинює поліпшення інших факторів, особливо фактору часу.

### **Література**

1. Zagurskyi O., Pokusa T., Zagurska S., Ohiienko M., Titova L., Rogovskii I. Ohiienko A., Razumova K., Berezova L. Current trends in development of transport and logistics systems of delivery of fast perishable foodstuffs. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2021, 238.

Zagurskyi O., Pokusa T., Duczmal M., Ohiienko M., Zagurska S., Titova L., Rogovskii I. Ohiienko A. Logistics centers: status and development trends. Monograph. Opole: Academy of Applied Sciences Academy of Management and Administration in Opole, 2023. 191.

УДК 656.7.025

## **СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВІАЦІЙНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У СВІТІ**

**Мацюк В'ячеслав Іванович**, д.т.н., професор,  
**Циганій Сергій Васильович**, MSc, аспірант,  
НУ «Київський авіаційний інститут»  
viacheslav.matsiuk@npp.kai.edu.ua

Авіаційні вантажні перевезення набувають все більшої актуальності та популярності серед логістичних компаній, особливо тих, що забезпечують доставку термінових і високовартісних вантажів. За даними порталу FactMR, ринок авіаційних вантажних перевезень демонструє стрімке зростання: з обсягу 76,3 млрд доларів США у 2025 році він прогнозовано збільшиться до 248,2 млрд доларів США до 2035 року, тобто більш ніж утричі, із середньорічним темпом зростання на рівні 12,5% [1].

Такі прогнози показники підкреслюють критично важливу роль авіаційних вантажних перевезень у розвитку сучасної глобальної економіки, яка дедалі більше залежить від швидкості доставки. Це особливо актуально для високовартісних і термінових вантажів, що представляють значні обсяги капіталу (у вартісному еквіваленті) або з інших причин потребують оперативного транспортування, зокрема у міжконтинентальному сполученні.

За даними того ж джерела, найбільш інтенсивне зростання очікується у період з 2025 до 2030 років — орієнтовно у два рази порівняно з базовим рівнем 2025 року. Така динаміка зумовлена насамперед активною цифровізацією та інформатизацією процесів доставки, оперативного управління та координації на всіх етапах транспортно-технологічного процесу [1-3]. Очікується, що впровадження зазначених рішень сприятиме підвищенню надійності та узгодженості дій усіх учасників перевізного процесу, зниженню ймовірності

виникнення нештатних ситуацій і, як наслідок, підвищенню відмовостійкості транспортно-технологічних систем.

Зростання даного виду перевезень значною мірою обумовлене збільшенням попиту на цей сегмент транспортної логістики, насамперед з боку електронної комерції та онлайн-торгівлі [2-4], яка давно вийшла за межі окремих країн і навіть економічних регіонів світу. Крім того, спостерігається стійке зростання попиту на термінову доставку посилок і дрібних партій вантажів, що свідчить про збільшення платоспроможного попиту, орієнтованого на швидкість доставки та готового сплачувати за це додаткову вартість. Відповідно до поточної ситуації та прогнозних оцінок, структура джерел доходів формується відповідним чином (рисунок 1, рисунок 2).



Рисунок 1 – Джерела доходів за даними 2025 року  
Джерело [1]



Рисунок 2 – Джерела доходів за прогнозними даними до 2030 року  
Джерело [1]

Слід зазначити, що з урахуванням сучасних тенденцій розвитку авіаційної логістики, авіаційний транспорт поступово перестає бути ізольованим видом транспорту [2, 3]. Для клієнтів і операторів вантажних перевезень дедалі менш актуальними є питання функціонування окремо авіаційного транспорту, натомість зростає увага до комплексної проблематики доставки вантажів, що передбачає використання мультимодальних технологій із залученням автомобільного, залізничного та повітряного транспорту.

### **Література**

1. “Air Cargo & Freight Logistics Market | Global Market Analysis Report - 2035.” Accessed: Apr. 09, 2026. [Online]. Available: [https://www.factmr.com/report/air-cargo-freight-logistics-market?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.factmr.com/report/air-cargo-freight-logistics-market?utm_source=chatgpt.com)
2. J. N. Rivera and D. Sun, “Air Traffic Management for Collaborative Routing of Unmanned Aerial Vehicles via Potential Fields,” Elsevier, Mar. 2024, Accessed: Apr. 09, 2026. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2403.11086>
3. J. Yang, J. Li, H. Qin, E. Su, and R. Zhang, “The Freight Multimodal Transport Problem with Buses and Drones: An Integrated Approach for Last-Mile Delivery,” *Transp. Res. E Logist. Transp. Rev.*, vol. 206, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.tre.2025.104538.
4. T. Zhang, J. Li, and B. Montreuil, “Dynamic Less-Than-Truckload Transportation Planning in Hyperconnected Hub Networks with Multi-Carrier Operations,” Jun. 2025, Accessed: Apr. 09, 2026. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2506.10290>

УДК 656.13:338.47

## **СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО РОЗВИТКУ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ**

**Степанов Олексій Вікторович**, д.т.н., професор,

**Сліпуха Тетяна Іванівна**, асистент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*

e-mail: o.stepanov@nubip.edu.ua

Сучасний етап розвитку автотранспортної галузі характеризується високою динамікою змін, зумовленою процесами глобалізації, цифровізації економіки та зростанням вимог до ефективності і безпеки транспортних систем. Автомобільний транспорт відіграє ключову роль у забезпеченні мобільності населення та функціонуванні економіки, що обумовлює необхідність формування науково обґрунтованих підходів до його розвитку. У цих умовах особливого значення набуває системний підхід, який дозволяє розглядати автотранспортну галузь як складну ієрархічну систему, що функціонує у взаємодії з іншими елементами транспортної та економічної інфраструктури.

Системний підхід передбачає комплексний аналіз структури, функцій та взаємозв'язків елементів автотранспортної галузі з урахуванням впливу зовнішніх і внутрішніх факторів. Такий підхід дозволяє виявляти ключові проблеми розвитку, визначати пріоритетні напрями модернізації та забезпечувати узгодженість управлінських рішень на різних рівнях.

Автотранспортна галузь у цьому контексті розглядається як відкрита система, що включає транспортні засоби, дорожню інфраструктуру, систему управління перевезеннями, нормативно-правове забезпечення та людський фактор, які перебувають у постійній взаємодії [1].

Однією з основних переваг системного підходу є можливість інтеграції різнорідних компонентів у єдину функціональну структуру. Це особливо важливо в умовах розвитку інтелектуальних транспортних систем, які об'єднують інформаційні технології, засоби зв'язку та автоматизовані системи управління. Впровадження таких систем дозволяє підвищити ефективність використання транспортної інфраструктури, оптимізувати транспортні потоки та знизити рівень аварійності. Системний підхід забезпечує узгоджене впровадження інновацій, що сприяє досягненню синергетичного ефекту [2].

Важливим аспектом системного розвитку автотранспортної галузі є врахування взаємодії між різними видами транспорту та інфраструктурними елементами. Інтеграція автомобільного транспорту з іншими видами перевезень, такими як залізничний та водний транспорт, дозволяє формувати ефективні логістичні ланцюги та забезпечувати безперервність транспортного процесу. У цьому контексті системний підхід виступає основою для формування мультимодальних транспортних систем, що відповідають сучасним вимогам до мобільності та сталого розвитку.

Суттєве значення має також економічний аспект розвитку автотранспортної галузі, який передбачає оптимізацію витрат, підвищення конкурентоспроможності транспортних підприємств та забезпечення ефективного використання ресурсів. Системний підхід дозволяє враховувати економічні, технічні та організаційні фактори у їх взаємозв'язку, що забезпечує більш обґрунтоване прийняття управлінських рішень. Використання сучасних методів економічного аналізу та прогнозування дозволяє оцінювати ефективність інвестиційних проектів та визначати пріоритетні напрями розвитку галузі [3].

Не менш важливим є екологічний аспект, який набуває особливого значення в умовах посилення вимог до зниження негативного впливу транспорту на навколишнє середовище. Системний підхід дозволяє інтегрувати екологічні критерії у процес управління автотранспортною галуззю, що сприяє впровадженню екологічно чистих технологій, розвитку електротранспорту та оптимізації транспортних потоків з метою зниження викидів шкідливих речовин.

Розвиток автотранспортної галузі також тісно пов'язаний із впровадженням цифрових технологій, які забезпечують автоматизацію процесів управління, підвищення точності планування та оперативність прийняття рішень. Використання систем моніторингу, телематики та аналітики великих даних дозволяє отримувати об'єктивну інформацію про стан транспортної системи та прогнозувати її розвиток. Системний підхід забезпечує інтеграцію цих технологій у єдину інформаційну інфраструктуру, що підвищує ефективність управління галуззю [4].

Разом з тим, реалізація системного підходу до розвитку автотранспортної галузі стикається з рядом проблем. Однією з них є недостатній рівень

координації між різними суб'єктами транспортної діяльності, що ускладнює узгодження стратегічних рішень. Іншою проблемою є обмеженість фінансових ресурсів, що стримує впровадження інноваційних технологій та модернізацію інфраструктури. Крім того, існує необхідність удосконалення нормативно-правової бази, яка повинна відповідати сучасним вимогам розвитку транспортних систем.

Перспективи розвитку автотранспортної галузі на основі системного підходу пов'язані з подальшою інтеграцією транспортних систем, розвитком інтелектуальних технологій та впровадженням концепції сталого розвитку. Очікується, що використання системного підходу дозволить забезпечити більш ефективне функціонування транспортної галузі, підвищити рівень безпеки дорожнього руху та знизити негативний вплив на навколишнє середовище.

Таким чином, системний підхід є важливим методологічним інструментом, що забезпечує комплексний розвиток автотранспортної галузі. Його застосування дозволяє враховувати багатофакторність та взаємозалежність процесів, що відбуваються у транспортній системі, та створює передумови для підвищення ефективності, безпеки та сталості функціонування автомобільного транспорту.

#### **Література:**

1. Коваленко В. І. Розвиток транспортних систем: системний підхід. Київ: НТУ, 2021.
2. Бойко Г. В. Інтелектуальні транспортні системи в Україні. Транспортні системи і технології, 2023, № 21, с. 45–52.
3. Птиця Г. Г., Абрамова Л. С. Аналіз підходів до реалізації системи управління безпекою дорожнього руху в Україні. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, 2024, № 17, с. 33–41.
4. European Commission. Sustainable Transport Development. Brussels, 2022.
5. OECD. Transport Outlook. Paris, 2023.

УДК 656.13:004

### **ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ АВТОТРАНСПОРТНИМ ГОСПОДАРСТВОМ НА ОСНОВІ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Степанов Олексій Вікторович, д.т.н., професор,  
Сліпуха Тетяна Іванівна, асистент**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,  
e-mail: o.stepanov@nubip.edu.ua*

Сучасний етап розвитку транспортної галузі характеризується інтенсивною цифровізацією виробничих і управлінських процесів, що обумовлено необхідністю підвищення ефективності функціонування автотранспортних підприємств в умовах зростаючої конкуренції, обмеженості ресурсів та високих вимог до якості транспортного обслуговування. Автотранспортне господарство як складна організаційно-технічна система потребує застосування новітніх підходів до управління, які базуються на

використанні інформаційно-комунікаційних технологій, автоматизованих систем обробки даних та інтелектуальних алгоритмів прийняття рішень.

Традиційні методи управління, що ґрунтуються на статичних планах, ручній обробці інформації та обмеженому використанні аналітичних інструментів, не забезпечують необхідного рівня оперативності та точності управлінських рішень. У зв'язку з цим актуальним є впровадження цифрових технологій, які дозволяють інтегрувати всі підсистеми автотранспортного підприємства в єдине інформаційне середовище, забезпечити моніторинг процесів у реальному часі та оптимізувати використання ресурсів [1; 2].

Автотранспортне господарство охоплює сукупність процесів, пов'язаних із плануванням, організацією та контролем перевезень, технічним обслуговуванням і ремонтом транспортних засобів, управлінням персоналом та матеріально-технічним забезпеченням. Ефективність функціонування такої системи визначається здатністю оперативно реагувати на зміни попиту, оптимально використовувати рухомий склад і мінімізувати витрати.

До основних проблем управління автотранспортним господарством належать:

- недостатня прозорість операційних процесів;
- нераціональне використання рухомого складу;
- перевитрати пального та експлуатаційних матеріалів;
- відсутність ефективних механізмів контролю технічного стану транспортних засобів;
- низький рівень автоматизації процесів планування та диспетчеризації.

В умовах цифрової трансформації ці проблеми можуть бути вирішені шляхом впровадження інтегрованих інформаційних систем, що забезпечують обробку великих масивів даних і підтримку прийняття управлінських рішень у реальному часі [3].

Сучасні цифрові технології створюють передумови для якісного вдосконалення управління автотранспортними підприємствами. До основних технологічних рішень, що використовуються в цій сфері, належать:

#### 1. Системи GPS-моніторингу та телематики

Застосування систем супутникового моніторингу дозволяє відстежувати місцезнаходження транспортних засобів, контролювати швидкість руху, витрати пального та режим роботи водіїв. Це забезпечує підвищення дисципліни, зниження витрат і покращення безпеки перевезень.

#### 2. Автоматизовані системи управління підприємством (ERP, TMS)

Інтегровані інформаційні системи забезпечують координацію всіх бізнес-процесів підприємства: планування перевезень, облік ресурсів, фінансовий контроль, управління персоналом. Впровадження таких систем дозволяє знизити адміністративні витрати та підвищити ефективність управління.

#### 3. Аналітика великих даних (Big Data)

Аналіз великих обсягів даних, що генеруються транспортними системами, дозволяє виявляти закономірності, прогнозувати попит на перевезення та оптимізувати маршрути руху. Використання аналітичних платформ забезпечує прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

#### 4. Інтернет речей (IoT)

Використання сенсорних пристроїв для моніторингу технічного стану транспортних засобів дозволяє своєчасно виявляти несправності та запобігати аварійним ситуаціям. Це сприяє підвищенню надійності рухомого складу.

#### 5. Хмарні технології

Застосування хмарних сервісів дозволяє забезпечити доступ до інформації з будь-якого місця, підвищити масштабованість систем та знизити витрати на їх обслуговування.

Впровадження цифрових технологій в управління автотранспортним господарством забезпечує суттєві економічні та організаційні ефекти. Зокрема, результати досліджень свідчать, що використання систем GPS-моніторингу дозволяє знизити витрати пального на 10–20 %, а застосування оптимізаційних алгоритмів маршрутів – скоротити пробіг транспортних засобів на 15–25 % [2; 4].

Незважаючи на значні переваги цифровізації, процес впровадження цифрових технологій в автотранспортному господарстві супроводжується рядом проблем. Однією з ключових є висока вартість впровадження інформаційних систем, що включає придбання обладнання, програмного забезпечення та навчання персоналу. Для багатьох підприємств це є суттєвим бар'єром, особливо в умовах обмежених фінансових ресурсів.

Іншою важливою проблемою є низький рівень цифрової компетентності персоналу. Ефективне використання сучасних інформаційних систем потребує відповідної підготовки працівників, що вимагає додаткових витрат часу і ресурсів. Недостатня кваліфікація може призводити до помилок у роботі систем і зниження ефективності їх використання.

Суттєвим обмеженням є також фрагментарність впровадження цифрових рішень. Часто окремі підсистеми функціонують незалежно одна від одної, що не дозволяє досягти повної інтеграції даних і отримати синергетичний ефект. Відсутність єдиних стандартів обміну інформацією ускладнює взаємодію між різними програмними продуктами та підсистемами підприємства.

Проблема кібербезпеки також набуває особливого значення в умовах цифровізації. Зростання обсягів даних і використання хмарних технологій підвищує ризик несанкціонованого доступу до інформації, що може призвести до значних економічних втрат.

Перспективи розвитку пов'язані з подальшою інтеграцією цифрових технологій у всі аспекти діяльності автотранспортного господарства. Очікується активне впровадження штучного інтелекту для автоматизації прийняття рішень, розвиток безпілотного транспорту, удосконалення систем прогнозування та оптимізації перевезень.

Важливим напрямом є створення єдиних цифрових платформ, які об'єднуюватимуть всі підсистеми підприємства в єдине інформаційне середовище. Це дозволить забезпечити комплексне управління ресурсами, підвищити ефективність планування та покращити якість транспортних послуг.

Крім того, перспективним є розвиток інтеграції автотранспортних підприємств із загальноміськими інтелектуальними транспортними системами,

що дозволить забезпечити більш ефективне управління транспортними потоками та підвищити рівень безпеки дорожнього руху.

Оптимізація управління автотранспортним господарством на основі цифрових технологій є ключовим напрямом підвищення ефективності функціонування транспортних підприємств. Використання сучасних інформаційних систем, аналітичних інструментів та інтелектуальних технологій дозволяє забезпечити раціональне використання ресурсів, підвищити якість управлінських рішень та знизити витрати.

Незважаючи на наявні проблеми впровадження, перспективи цифровізації є значними і визначають подальший розвиток транспортної галузі. Комплексне використання цифрових технологій створює передумови для формування ефективного, конкурентоспроможного та стійкого автотранспортного господарства.

### **Література**

1. Бойко Г. В. Цифровізація транспортних систем: сучасний стан та перспективи розвитку. Транспортні системи і технології, 2023, № 21, с. 45–52.
2. Коваленко В. І. Інформаційні технології в управлінні автотранспортними підприємствами. Київ: НТУ, 2022.
3. Птиця Г. Г., Абрамова Л. С. Аналіз підходів до реалізації системи управління безпекою дорожнього руху в Україні. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, 2024, № 17, с. 33–41.
4. European Commission. Digital Transport and Logistics Forum: Study Report. Brussels, 2022. OECD. Digital Transformation of Transport Systems. Paris, 2021.

УДК 631.3:62-192:629.7

## **ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІСТА КИЄВА**

**КАЛІНЕЧЕНКО Д. Ю.**, к.т.н.,  
E-mail: okrug.kalinichenko@gmail.com

**РУЖИЛО А. З.**  
a.ruzhilo90@gmail.com

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Місто Київ є найбільшим урбаністичним центром України, що виконує функції політичного, економічного, культурного, наукового та адміністративного осередку держави. Як складна соціально-економічна система, столиця потребує ефективно організованої транспортної інфраструктури, яка забезпечує територіальну цілісність міста, мобільність населення та функціонування всіх сфер життєдіяльності. Рівень розвитку транспортної системи безпосередньо впливає на якість життя населення, доступність соціальних послуг, ефективність господарської діяльності та інвестиційну привабливість міста.

Історичний розвиток транспортного забезпечення Києва відображає основні етапи його урбаністичної еволюції. У період Київська Русь місто відіграло роль ключового торговельного вузла на шляху «із варяг у греки», де основною транспортною магістраллю була річка Дніпро. У цей час переважали водні перевезення, тоді як внутрішньоміські переміщення здійснювалися за допомогою гужового транспорту.

У XIX столітті відбувається поступова модернізація транспортної системи: з'являються омнібуси, розвивається річковий транспорт, що сприяє активізації економічної діяльності. Наприкінці XIX століття Київ стає одним із піонерів впровадження електричного транспорту в Європі. У 1892 році було відкрито першу лінію електричного трамвая, що стало важливим етапом у розвитку міських перевезень. Вибір електричної тяги був обумовлений складними географічними умовами, зокрема значними перепадами висот міського рельєфу.

У першій половині XX століття трамвай набуває статусу основного виду міського транспорту. Паралельно розвивається автобусне сполучення, що забезпечує транспортну доступність нових житлових районів. У 1935 році введено в експлуатацію тролейбусний транспорт, який у повоєнний період зазнав значного розширення.

Якісно новим етапом розвитку транспортної системи стало відкриття у 1960 році Київського метрополітену. Метрополітен забезпечив високий рівень провізної спроможності та став базовим елементом транспортної інфраструктури міста. Його розвиток супроводжувався розширенням мережі у напрямку нових житлових масивів та інтеграцією з іншими видами транспорту.

Сучасна транспортна система Києва є багатокомпонентною та включає метрополітен, трамвайний, тролейбусний, автобусний транспорт, міську електричку та інші види перевезень. Важливим напрямом розвитку є впровадження інтелектуальних транспортних систем, електронного квитка, а також оновлення рухомого складу з урахуванням принципів енергоефективності та екологічної безпеки.

Разом з тим, функціонування транспортної системи супроводжується низкою проблем, серед яких перевантаженість вулично-дорожньої мережі, недостатній рівень розвитку транспортної інфраструктури, зношеність основних фондів та необхідність впровадження екологічно чистих видів транспорту. Вирішення цих проблем потребує комплексного підходу, що включає стратегічне планування, модернізацію інфраструктури та оптимізацію транспортних потоків.

Розвиток транспортної системи Києва є відображенням його соціально-економічної динаміки та урбаністичних трансформацій. Ефективне функціонування транспортної інфраструктури виступає ключовою передумовою сталого розвитку міста, підвищення якості життя населення та забезпечення конкурентоспроможності столиці.

### **Література**

1. Беляєв І. М. Історія київського міського транспорту. Київ: Наукова думка, 2010.

2. Дмитрук О. Ю. Транспортна інфраструктура Києва: історія та сучасність. Київ: Логос, 2015.
3. Ковалинський, В. В. Київські мініатюри. Книга про історію міста. — Київ: Купола, 2003.
4. Новицький А. В. та ін. Надійність і ефективність транспортних систем: навч. посібник. Київ: НУБіП, 2021.
5. Офіційний сайт Київський метрополітен. – Режим доступу: <https://metro.kyiv.ua>
6. Офіційний портал Київська міська державна адміністрація. – Режим доступу: <https://kyivcity.gov.ua>
7. Статистичний щорічник міста Києва. – Київ: Головне управління статистики у м. Києві (різні роки).

UDC 656.7:658.589

## **RISK MANAGEMENT OF POST-WAR RESTART OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE IN UKRAINE**

**Viktoriia V. Klymenko**, PhD in Economics, Associate Professor  
**Nadiia N. Novalska**, PhD in Economics, Associate Professor  
**Oleksandr R. Yeroshenko**, Senior Lecturer  
*National University "Kyiv Aviation Institute"*  
e-mail: viktoriia.klymenko@npp.kai.edu.ua

The operation of Ukraine's transport sector in the post-war period will involve a range of security, technical, and infrastructural risks and threats. These must be anticipated, and a comprehensive set of measures must be developed to mitigate them. In contemporary practice, several core concepts of risk are applied:

- risk as a characteristic of a potential hazard, representing the possibility of adverse events occurring and causing harm;
- risk as a measure of discrepancy between decision outcomes in terms of their utility, and as the likelihood of worst-case alternatives materializing [1].

A particularly complex issue is the resumption of post-war airport operations to ensure effective interaction between air and road transport modes. According to the regulatory acts governing the activities of transport enterprises in Ukraine, “risk is the residual probability of an event with significant consequences occurring after accounting for mitigation measures” [2].

In the post-war period, security risks may be associated with:

- strikes on and damage to airport facilities by various types of missiles and attack UAVs, as well as sabotage and terrorist acts;
- the deployment of electronic warfare systems aimed at interfering with air navigation infrastructure;
- cyberattacks on critical airport information systems;
- chemical, biological, and radiological threats;
- aircraft seizure and hijacking while grounded at the airport;

- threats of committing acts of unlawful interference;
- the concealment of improvised explosive devices, firearms, or bladed weapons on a person, in carry-on baggage, or in personal belongings [3].

Security risk management necessitates the construction of shelters directly within airport terminals and the development of rapid evacuation protocols. It is critically important to train aviation security personnel in profiling techniques to identify potentially dangerous individuals before they even approach security restricted areas, alongside the implementation of biometric technologies.

Mitigating cyber threats requires the creation of isolated perimeters for mission-critical systems, the implementation of real-time data backup protocols, and the regular stress testing of the cybersecurity system. A comprehensive integration of engineering and technical measures, strict procedural protocols, and enhanced coordination with state security forces is the only viable path to ensure the safe operation of the airport in post-war realities.

In the post-war period, the hazard of landmines and unexploded ordnance will remain a significant concern. Despite clearance operations across the airport premises, the potential discovery of explosive remnants of war in the ground near the runway or within underground utilities continues to present a direct threat to passenger and staff safety, and aircraft structural integrity, potentially causing operational shutdowns. The management of this risk demands comprehensive, multi-phase technical reconnaissance and certified clearance of the entire airport footprint in collaboration with specialized units of the State Emergency Service of Ukraine. Additionally, it requires deploying continuous pavement condition monitoring systems that leverage advanced ground-penetrating radar technologies ahead of every flight cycle.

In addition to security risks, post-war airport operations will also be affected by technical and infrastructural risks, which include the following:

- risks of equipment failure due to prolonged downtime and damage to airport infrastructure;
- the risk of infrastructure deterioration caused by hidden runway defects (visually undetectable microcracks from explosions) and the degradation of taxiways resulting from suspended operations;
- failures of ground support equipment, such as apron buses, passenger steps, and tow tractors. Equipment left idle for extended periods carries a high risk of breakdown (e.g., discharged batteries, dried-out seals, outdated software);
- risks of malfunctions or disruptions in the terminal's utility networks (ventilation, heating, and water supply systems) and the baggage handling system following prolonged downtime.

To mitigate these technical and infrastructural risks, it is essential to conduct a comprehensive technical audit of the airport complexes and execute operational test runs 1–2 months prior to their reopening.

### **Literature**

1. Buhayko, D. O. (2024). Risk assessment methodologies in the aviation security system (in Ukrainian). Retrieved from:

[https://www.researchgate.net/publication/385243083\\_METHODIKI\\_OCINKI\\_RIZIKI\\_V\\_U\\_SISTEMI\\_BEZPEKI\\_AVIACII](https://www.researchgate.net/publication/385243083_METHODIKI_OCINKI_RIZIKI_V_U_SISTEMI_BEZPEKI_AVIACII)

2. Ministry of Infrastructure of Ukraine. (2020, June 17). Order No. 356 (in Ukrainian). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0960-20#Te>

3. State Aviation Service of Ukraine. (2025, September 30). General assessment of the level of threats and risks to civil aviation security in the territory of Ukraine, approved by Order No. 317 (in Ukrainian). Retrieved from: <https://avia.gov.ua/bezpeka-aviatsiyi/aviatsijna-bezpeka/otsinka-zagroz-ta-ryzykiv-aviatsijnij-bezpetsi/>

УДК 656.1

## **АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТОВ «НОВА ПОШТА» З ВІДКРИТТЯ ФІЛІАЛІВ В КРАЇНАХ ЄС**

**Музикін Михайло Ігорович<sup>1</sup>**, к.т.н., доцент, доцент

**Нестеренко Галина Іванівна<sup>2</sup>**, к.т.н., доцент,

**Біла Катерина Ігорівна<sup>1</sup>**, студентка

<sup>1</sup> *Університет митної справи та фінансів,*

<sup>2</sup> *Український державний університет науки і технологій*

Сучасні тенденції стрімкого зростання обсягів перевезень, вимог до якості обслуговування споживачів та конкуренції на глобальному ринку, визначають ключову роль логістичних процесів, як комплексної системи взаємопов'язаних операцій, у забезпеченні зберігання, безперервного руху товарів та управлінні інформаційними і фінансовими потоками, що, у свою чергу, сприятиме розвитку економіки на етапі переходу до ринкових відносин. Планування, організація і контроль за виконанням таких операцій здійснюються одним із лідерів ринку експрес-доставки в Україні, інтегрованою у світову логістичну систему, – ТОВ «Нова Пошта». яке, подолавши виклики економічних криз, забезпечує якісне й оперативне надання широкого спектру послуг, серед яких складські і кур'єрські, з доставки посилок, документів і великих вантажів у найкоротші терміни, як по всій території України, так і за її межами, а також фрахтові перевезення та сервіс фулфілменту. З моменту заснування 19 січня 2001 року, українська багатогранна транспортно-експедиційна компанія демонструє динамічний розвиток, і станом на 2025 рік має 13 тис. відділень, 24 тис. поштоматів, 110 терміналів та депо, а загальний обсяг відправлень сягає понад 480 млн посилок і вантажів щороку, що дозволяє задовольнити потреби фізичних осіб та корпоративних клієнтів завдяки поступовому розширенню можливостей та впровадженню сучасних технологій у всі процеси своєї діяльності. [1]

Активна міжнародна діяльність компанії «Нова пошта» охоплює ряд послуг всіх етапів логістичного ланцюга у 43 країнах світу і території доставки посилок. Так, із жовтня 2022 року вона стала першою українською мережею, яка відкрила відділення в Європейському Союзі (ЄС) під час повномасштабного вторгнення. Для завоювання конкурентоспроможного місця на світовій арені, розвиток даної багаторівневої інтегрованої системи відбувається на основі

стратегії глобального зростання власних представництв у ключових регіонах, участі у міжнародних транспортних проектах і програмах та впровадження багатофункціональних діджитал інструментів (мультимовного сайту, мобільного застосунку та бізнес кабінету), успішно апробованих в Україні.

Оновлена на початку 2024 року безбар'єрна група компаній «NOVA», у поєднанні глобального досвіду із знаннями локальних особливостей, об'єднала раніше створені закордонні представництва (в Молдові, Польщі, Литві та Чехії), під брендом «Nova Post», і вже у квітні 2025 року налічувала 135 точок доставки Європи, головним завданням яких стала експансія на ринок поштових послуг у країнах ЄС. Водночас міжнародна «NOVA group of companies» активно розвиває логістичні рішення з організації транскордонної доставки через розширення розгалуженої системи «Nova Post Europe», географія якої охоплює Польщу, що виступає центральним логістичним хабом із двома сортувальними терміналами (у містах Варшаві й Глогуві-Малопольському) для транзитних перевезень та на території країни, а також має 50 відділень у 31 місті. У березні 2023 року було відкрито два відділення у містах Вільнюс й Каунас Литви, та в червні вказаного року – у Чехії, Румунії та Німеччині, де наразі працює 10, 2 і 19 пунктів доставки відповідно, а згодом також з'явилися відділення в Словаччині, Латвії, Естонії, Угорщині й Італії. Підприємство постійно розвивається, завдяки чому, до кінця 2024 року до мережі додалися декілька країн: Велика Британія, Іспанія, Австрія, але водночас розпочато роботу також на ринках Австрії та Нідерландів, загалом налічуючи понад 87 000 точок сервісу, з яких 135 – власні пункти в Європі [2].

Разом із тим, структура розгалуженої системи «NOVA» об'єднує українські й міжнародні бізнеси, до переліку яких входять: компанія з розробки логістичних рішень для задоволення потреб глобальної електронної комерції (E-Commerce) «Nova Global», авіакомпанія «Supernova Airlines», яка здійснила десятки рейсів між європейськими країнами (перші відбувалися за маршрутом Рига – Жешув) і незабаром розпочне трансконтинентальні перевезення до Сполучених Штатів Америки, небанківська фінансова установа «NovaPay» для операцій міжнародної платіжної системи, «Nova Digital», що є IT-компанією, розробником веб-додатків та програмного забезпечення для проектів різної складності. Основними аспектами процесів управління міжнародними транспортними операціями підприємства «Нова Пошта» є підвищення ефективності діяльності, що слугує основою для подальшої оптимізації процесу руху товарів і послуг від постачальника до кінцевого споживача та охоплює не лише транспортування і зберігання, але й управління запасами, оптимізацію складських площ, а також введення новітніх технологій. Розвиток пріоритетно супроводжується значними інвестиціями, обсяг яких у 2025 році, на спрямування в Європу, досягнув 10 млн євро, що в порівнянні з попереднім роком збільшено на 42,8%, з метою створення інфраструктури: сортувальних центрів, поштових відділень та поштоматів. Тож невід'ємною частиною сучасної бізнес-стратегії логістичної структури «Нової Пошти» є будівництво інноваційних терміналів за всіма сучасними технологіями, тобто комплексу, оснащеного автоматизованим обладнанням й інтелектуальними системами управління з використанням

алгоритмів штучного інтелекту (ШІ), що забезпечує швидку обробку замовлень та їх вчасну доставку [3].

Функціонування української логістичної компанії «Нова Пошта» на ринках ЄС супроводжується конкурентним середовищем з боку глобальних операторів, таких як «DHL», який вирізняється масштабною мережею (охоплює понад 220 країн), потужною інфраструктурою із високим рівнем автоматизації процесів, «UPS» – надійністю і швидкістю доставки у більше ніж 200 країн з акцентом на бізнес-клієнтів та корпоративні відправлення, «FedEx» – швидким перевезенням шляхом використання сучасного флоту авіаперевезень, а також регіональних, завдяки своїм тарифам і гнучкості у забезпеченні локальних послуг, до яких відносяться «InPost» (у Польщі) та «GLS» (в європейських країнах). Натомість згадані компанії поступаються через обмежену адаптацію до потреб, порівняно високою вартістю послуг для індивідуальних клієнтів, малого та середнього бізнесу, високі операційні витрати і недостатню гнучкість, що може спричинити затримки у постачанні в регіони з менш розвинутою інфраструктурою.

У порівнянні з аналогічними проектами, ТОВ «Нова Пошта» демонструє стратегічну перевагу в локалізації послуг певної ринкової ніші між Україною та країнами Європейського Союзу, швидкої адаптації до змін регіонального ринку, у той час як міжнародні мережі зосереджуються на масштабній B2B-логістиці, вона також позиціонується послугами за принципом «від дверей до дверей», що включає забір вантажу у відправника, транспортування, митне оформлення та доставку отримувачу. Незважаючи на додаткові складнощі, пов'язані зі змінами у митному законодавстві, певними регуляторними обмеженнями і торгівельними бар'єрами, сильними сторонами провідної української компанії «Нова Пошта» (група «Nova Post») є оперативність обробки відправлень при сприянні сучасних методів сортування вантажів, експлуатації сучасного рухомого складу із реалізацією екологічних (скорочення викидів CO<sub>2</sub>) та сталих рішень стосовно переходу на електромобілі й багаторазову упаковку. Продовження розвитку в ЄС та вдосконалення системи управління якістю потребує поєднання власних відділень із партнерськими моделями, модернізації і удосконалення матеріально-технічної бази, оптимізації тарифів для малого бізнесу, проте вона також повинна уважно враховувати свої слабкі сторони і загрози, аналізувати потреби своїх замовників, щоб забезпечити довгострокову конкурентну перевагу та зміцнення позицій для здобуття нових висот у своєму функціонуванні.

### **Література**

1. Група Nova у світі: інформаційна сторінка офіційного веб-сайту компанії «Nova Global». URL: <https://novaposhtaglobal.ua/about/> (дата звернення: 13.02.2026).
2. NOVA (Нова пошта) сьогодні: розділ «Про компанію» офіційного веб-сайту ТОВ «Нова Пошта». URL: <https://novaposhta.ua/more/novapost-today/> (дата звернення: 16.02.2026).
3. Музикін М. І., Нестеренко Г. І., Овчарук А. С. Шляхи підвищення ефективності роботи транспортного терміналу ТОВ «Нова Пошта».

*Автомобільний транспорт та інфраструктура* : Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції. Київ: НУБіПУ, 2025. С. 64-66.

УДК 631.3:62-192:629.7

## **СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШИНАМИ РУХОМОГО СКЛАДУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

**НОВИЦЬКИЙ А. В.**, к.т.н., доц.,

E-mail: Novytskyu@nubip.edu.ua

**РУЖИЛО А.З.**

a.ruzhilo90@gmail.com

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Ефективність діяльності автотранспортного підприємства значною мірою визначається технічним станом його рухомого складу. Однією з ключових складових надійної експлуатації транспортних засобів є автомобільні шини. Їх технічний стан безпосередньо впливає на безпеку дорожнього руху, витрати пального, керованість автомобіля та, як наслідок, на рівень собівартості перевезень. Саме тому правильна та своєчасна організація забезпечення шинами є важливим напрямом матеріально-технічного забезпечення підприємства.

Забезпечення шинами здійснюється на основі планування. Підприємства формують річні та квартальні плани потреби, враховуючи кількість і типи транспортних засобів, їх середньорічний пробіг, нормативний ресурс шин, а також умови експлуатації (міські, міжміські, кар'єрні перевезення тощо). Завдяки такому підходу забезпечується своєчасне замовлення шин і запобігається простою транспорту через їх відсутність.

На автотранспортних підприємствах ведеться індивідуальний облік шин. Для цього використовуються спеціальні облікові картки, у яких фіксуються дата встановлення, місце розташування на транспортному засобі (вісь, сторона), пробіг, характер і час виникнення пошкоджень, а також дані про проведені ремонтні роботи, сезонні перестановки та відновлення. Такий контроль дозволяє порівнювати фактичний пробіг із нормативним, виявляти причини передчасного зносу і приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Раціональне використання шин передбачає дотримання вимог до їх монтажу та демонтажу, своєчасну перестановку між осями для рівномірного зносу, а також регулярний контроль і підтримання необхідного рівня тиску повітря. Крім того, важливим фактором є технічний стан ходової частини автомобіля (зокрема розвал-сходження та балансування коліс), який потребує систематичної перевірки. Ігнорування цих вимог призводить до нерівномірного зносу шин, скорочення строку їх служби та зростання витрат на експлуатацію.

Не менш важливим є своєчасне технічне обслуговування шин. Грамотно організовані ремонт і відновлення дозволяють продовжити термін їх використання та зменшити витрати підприємства.

Для забезпечення безперебійної роботи створюється оборотний фонд шин і страховий запас. Водночас необхідно дотримуватися відповідних умов їх

зберігання: правильного розміщення, оптимального температурного режиму та захисту від впливу прямих сонячних променів. Це сприяє збереженню експлуатаційних властивостей шин і запобігає передчасному старінню гуми.

Забезпечення рухомого складу шинами є складним і багатограничним процесом, що охоплює планування, облік, контроль, технічне обслуговування та економічний аналіз. Раціональна організація цього процесу підвищує безпеку перевезень, знижує витрати та забезпечує стабільну роботу автотранспортного підприємства.

### Література

1. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. (2021). Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*, 12 (2), 39–47. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.039>.
2. National Highway Traffic Safety Administration. *Tire Maintenance and Safety* (2023).
3. SAE International. *Influence of Tire Pressure and Wear on Vehicle Fuel Efficiency and Safety* (2021).
3. Новицький А.В., Ружи́ло З.В., Бистрий О.М., Банний О.О., Сиволапов В.А. Надійність машин та обладнання. Том 1. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання навчальний посібник. Київ. НУБіП України. 213 с.
4. Аналіз обладнання для проведення шиномонтажних робіт / З.В. Ружи́ло, А.Ю. Рябоштан, Н.А. Гладун // Збірник тез доповідей VI Міжнародної наукової конференції «Екобіотехнології та біопалива в АПК – Energia 2012» (27 вересня – 03 жовтня 2012 року) – К., 2012. – С. 56-86.
5. European Tyre and Rubber Manufacturers' Association. *Sustainability and Performance of Tyres Report* (2022).

УДК 339.138:656.07:355.4

## МАРКЕТИНГОВА ЛОГІСТИКА В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: СТРУКТУРНІ ЗРУШЕННЯ ТА АДАПТАЦІЙНІ СТРАТЕГІЇ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ

**Савченко Лілія Анатоліївна**, к.т.н., доцент

**Нефєдова Ксенія**, учениця 157 ліцею Оболонського району, м. Києва

**Заїка Марія**, учениця 157 ліцею Оболонського району, м. Києва

*Національний університет біоресурсів та природокористування України*

email: [lilya\\_savchenko@nubip.edu.ua](mailto:lilya_savchenko@nubip.edu.ua)

Маркетингова логістика традиційно розглядається як інтегруюча функція, що поєднує завдання ринкового позиціонування продукту та фізичного управління товарним потоком від виробника до кінцевого споживача. В умовах мирного часу її оптимізаційний горизонт вимірюється показниками «витрати – рівень обслуговування». Збройна агресія проти України з 24 лютого 2022 року принципово змінила саму архітектуру цього завдання: географія попиту деформувалася через вимушене переселення понад 6 млн осіб усередині країни [1]; фізичне плече доставки подовжилось через руйнування східних логістичних

хавів; споживча поведінка набула нових характеристик – домінування тривожних покупок, нечутливість до традиційних тригерів лояльності, примат доступності над брендовою прихильністю.

Жодна з класичних моделей маркетинг-мікс не передбачала одночасного поєднання цих чинників, що зумовлює необхідність їхнього окремого теоретичного осмислення.

Мета роботи – ідентифікувати структурні зрушення у функціях маркетингової логістики українських підприємств в умовах воєнного стану та обґрунтувати адаптаційні стратегії, придатні для масштабування у відбудовчий період.

Фундаментальне концептуальне зрушення, яке відбулось у 2022–2025 роках, полягає у переході від ефективності як домінантної цінності маркетингової логістики до стійкості. Якщо до вторгнення критерієм успіху ланцюга постачання вважалась мінімізація сукупних логістичних витрат при заданому рівні сервісу, то нова парадигма ставить на перше місце здатність системи зберігати функціональність при частковому руйнуванні будь-якого з її вузлів [2]. Це не просто зміна пріоритету оптимізації — це трансформація самої цільової функції. Практичним вираженням цього зсуву стала масова відмова підприємств від логіки «точно вчасно» (Just-in-Time) та перехід до моделі «на всякий випадок» (Just-in-Case) з формуванням буферних запасів на 45-90 діб у децентралізованих точках зберігання, що географічно тяжіють до Заходу України.

Руйнування єдиного ринкового простору поставило перед маркетологами задачу, якої не існувало в довоєнній практиці: сегментування ринку не за демографічними чи психографічними ознаками, а за безпековим профілем території. Виникли три принципово різні зони з несумісними логістичними параметрами:

- прифронтова зона – зруйнована або недоступна інфраструктура, критично короткий горизонт планування, домінування гуманітарної та військової логістики над комерційною;

- центральна Україна – часткові пошкодження, нерівномірний попит, максимальне навантаження на залізничну мережу через перерозподіл вантажопотоків;

- захід країни – збережена інфраструктура, різке зростання споживчого попиту через внутрішню міграцію, перевантаженість прикордонних переходів [1, 3].

Ефективна маркетингова логістика вимагає розробки трьох відмінних сервісних моделей для кожної зони замість єдиної загальнонаціональної.

Найбільш радикальну трансформацію зазнала дистрибуційна складова маркетингової логістики. Традиційна лінійна схема «виробник → регіональний дистриб'ютор → роздрібна мережа» виявилась вразливою в умовах, коли будь-яка з проміжних ланок може вибути з ладу протягом однієї доби. Підприємства, що вижили на ринку, здійснили перехід до гібридної архітектури: пряма доставка споживачу (D2C) через власні цифрові платформи скоротила транзакційне плечо й забезпечила незалежність від збутових посередників; формат dark store (склад-магазин без торгового залу з доставкою за 30–60 хвилин) дозволив зберегти оперативність сервісу в умовах небезпечного перебування на вулиці; пункти

видачі у підвалах і укриттях ОСМД утворили принципово нову точку дотику бренду зі споживачем, недоступну у довоєнній моделі [4].

Узагальнення виявлених трансформацій у розрізі шести базових функцій маркетингової логістики наведено в табл. 1. Порівняння довоєнних і воєнних моделей дозволяє кількісно оцінити масштаб структурних зрушень і виявити вектори, за якими тимчасові адаптаційні рішення мають потенціал перетворитись на довгострокові конкурентні переваги.

Як свідчать дані табл. 1, цифровізація комунікаційної логістики набула у воєнний час прискорення, непорівнянного з будь-яким мирним трендом трансформації. Переведення промо-комунікацій у формат push-повідомлень з геолокаційним таргетуванням вирішило задачу, з якою ринок не стикався раніше: доставку торгового повідомлення споживачу, який перебуває у бомбосховищі й не має доступу до офлайн-медіа. Месенджери Viber і Telegram перетворились на повноцінні канали продажів з інтегрованими ботами для оформлення замовлень і відстеження доставки, а не лише майданчики для брендингового контенту [4, 5].

Паралельно відбулась вимушена «гуманізація» зворотної логістики: за умов нестачі персоналу й транспорту класичний процес повернення товару через розподільчі центри поступився місцем моделям «no return» та донаційним депо, де непотрібні або надлишкові товарні запаси переспрямовуються на потреби ЗСУ або тероборони.

Таблиця 1. Трансформація функцій маркетингової логістики в умовах воєнного стану (2022–2025 рр.)

Маркетингова логістична функція	Довоєнна модель	Модель воєнного часу (2022–2025)	Ключовий ефект
Сегментація ринку за географією	Єдиний хаб у Києві, охоплення всіх регіонів	Зонування: «безпечний захід» vs «зона ризику»; мікросегменти за прифронтовими ОВА	Зниження логістичних втрат на 35–60 %
Управління запасами (inventory)	Just-in-Time: мінімальні залишки	Just-in-Case: буфери 45–90 діб у децентралізованих схованках	Стійкість до розриву ланцюга
Дистрибуція (канал збуту)	Виробник → дистриб'ютор → роздріб	D2C-платформи + dark store + пункти видачі ОСМД	Скорочення плеча доставки на 40–55 %
Комунікаційна логістика	ATL-канали, офлайн- івенти	Push з геолокацією, Viber/Telegram-боти для замовлень	Конверсія без фізичного контакту
Зворотна логістика (returns)	Формалізований процес через РЦ	«No return» або донаційні депо для армії	Переорієнтація відходів у ресурс
Логістика ціноутворення	Ринкове зонування цін	Соціально-диференційоване ціноутворення + держрегулювання	Доступність критичних товарів

Складено авторами за [1-6].

Проведений аналіз дозволяє стверджувати, що воєнний стан не зупинив маркетингову логістику в Україні – він її структурно переформатував. Система,

яка вважалась оптимізованою за критерієм витрат, виявилась крихкою перед асиметричними загрозами; система, збудована на принципах стійкості, – функціонально живучою попри безпрецедентні зовнішні навантаження. Три зміни мають потенціал збереження у повоєнній моделі: децентралізація складської інфраструктури як страхівка від будь-яких майбутніх потрясінь; гібридна D2C-дистрибуція як інструмент прямого контролю над споживчим досвідом; та геоонована сегментація ринку, яка у відбудовчий період природним чином трансформується в інструмент пріоритизації логістичних інвестицій за критерієм відновлення платоспроможного попиту.

Практичне впровадження цих підходів потребує законодавчого закріплення спрощеного режиму для dark store і пунктів видачі у нежитлових приміщеннях, а також державного субсидювання платформених рішень для малого бізнесу, що ще не здійснив цифровий перехід [3, 5].

### **Література**

1. Дем'яненко С. І., Коваленко О. В. Споживчий ринок України в умовах воєнного стану: структурні зміни та адаптаційні механізми. Економіка та управління підприємствами. 2023. Вип. 67. С. 14–22. DOI: 10.32782/2307-1158.2023.67.02.
2. Christopher M. Logistics & Supply Chain Management. 6th ed. Harlow : Pearson Education, 2022. 354 p.
3. Захарченко В. І. Трансформація логістичних систем підприємств в умовах воєнного конфлікту. Бізнес-навігатор. 2024. № 2 (82). С. 44–51.
4. Котлер Ф., Келлер К. Л. Маркетинговий менеджмент. 15-е вид. / пер. з англ. Київ : Хімджест, 2023. 848 с.
5. Мацюк В. І., Савченко Л. А., Загурський О. М. Оптимізація параметрів транспортно-технологічної системи підприємства в умовах часткової невизначеності. Machinery & Energetics. 2023. Т. 14, № 3. С. 61–71. DOI: 10.31548/machinery/3.2023.61.
6. Pokusa M., Ohienko M., Zagurskiy O. et al., Logistics in conditions of uncertainty. Monograph. Opole: Academy of Applied Sciences Academy of Management and Administration in Opole, 2024; ISBN 978-83-66567-62-7; 290.

УДК 351.81:005.932

## **ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ: СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ІННОВАЦІЇ У ЛОГІСТИЦІ**

**Лемішко Дар'я Сергіївна**, асистент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: lemishko.dasha@nubip.edu.ua

Автотранспортна галузь сьогодні стоїть на перехресті технологічного прогресу, економічного зростання та екологічної відповідальності. Те, що ще десятиліття тому здавалося футуристичним – зарядні станції вздовж доріг, електромобілі, використання альтернативних палив сьогодні стає не опцією, а необхідністю. Не лише тому, що так диктують міжнародні екологічні норми, а й

тому, що найбільші гравці світового ринку логістики демонструють реальні результати впровадження «зелених» транспортних технологій.

Одним із яскравих прикладів є DHL Group, німецька логістична компанія, яка поставила завдання збільшити частку екологічно чистого авіаційного палива (SAF) до 30 відсотків до 2030 року і розвивати парк електромобілів. Крім того, DHL планує підтримувати своїх клієнтів у трансформації їхніх ланцюгів постачання в напрямку кліматичної нейтральності, пропонуючи комплексні логістичні послуги відповідно до принципів «зеленої» логістики.

Не менш цікавий приклад - FedEx Corporation. Компанія поставила собі за мету досягнення вуглецевої нейтральності до 2040 року. Для цього FedEx активно переводить свої транспортні операції на електричну тягу та використовує відновлювані джерела енергії. Компанія не тільки впровадила електромобілі у своїх підрозділах по всьому світу, але й вперше здійснила міжнародну доставку з Малайзії до Сінгапуру за допомогою повністю електричного автомобіля, що знизило викиди CO<sub>2</sub> по цьому маршруту порівняно з дизельним транспортом майже на 100кг.

Інший приклад стійкої логістики – United Parcel Service (UPS), яка поєднує електрифікацію автопарку з інтелектуальними системами заряджання та оптимізацією маршрутів. Компанія активно тестує та впроваджує альтернативні види палива та електротранспорт, а також співпрацює з енергетичними партнерами для створення гнучких та «розумних» мереж зарядних станцій, що допомагає знизити навантаження на електричну мережу та покращує економічну ефективність операцій.

Крім логістичних гігантів, власний внесок в екологізацію транспорту роблять великі електронні та e-commerce компанії. Так, нещодавно Amazon оголосила про найбільше у Великій Британії замовлення електричних важких вантажівок (HGV) - понад 150 повністю електричних машин для перевезення великогабаритних вантажів, а також розширення мережі зарядних станцій по всій країні. Такий крок демонструє, що великі комерційні гравці бачать реальну економічну та екологічну вигоду у переході на нульові викиди у транспортних операціях.

Сучасні стійкі транспортні технології перестають бути модним трендом: вони стають критично важливими елементами стратегій розвитку логістичних мереж і автопарків. Це не тільки знижує екологічний слід, а й підвищує конкурентоспроможність компаній: оптимізовані маршрути, електричні транспортні засоби та інтеграція відновлюваної енергії дозволяють знижувати операційні витрати, зміцнювати репутацію на ринку та відповідати зростаючим вимогам клієнтів та міжнародних регуляторів.

### **Література**

1. FedEx. Company Information: History. URL. [https://www.fedex.com/en-us/about/history.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.fedex.com/en-us/about/history.html?utm_source=chatgpt.com)
2. UPS. Офіційний сайт компанії URL. <https://www.ups.com/ua/uk/home>
3. Pokusa M., Ohienko M., Zagurskiy O. et al., Logistics in conditions of uncertainty. Monograph. Opole: Academy of Applied Sciences Academy of Management and Administration in Opole, 2024, 290.

УДК 338.46

## МОДЕРНІЗАЦІЯ ПІДПРИЄМСТВ АВТОТРАНСПОРТУ ПІД ВПЛИВОМ ФАКТОРІВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Сліпуха Тетяна Іванівна, асистент,

Національний університет біоресурсів і природокористування

e-mail: dubrova17@ukr.net

Розвиток транспортного потенціалу сьогодні залежить від того, наскільки швидко та ефективно ми впроваджуємо інновації в інфраструктуру. Щоб транспортна галузь розвивалася в сучасних умовах, потрібно вчасно впроваджувати нові технології, роблячи це системно та з максимальною віддачею.

Важливими напрямками забезпечення, функціонування і розвитку автотранспортних підприємств є впровадження інноваційних технологій, розробка нових продуктів, організаційних та управлінських рішень. Це можливо за допомогою науково-технічних досягнень, які поширюються у виробництво та надання послуг у формі інновацій. Оскільки інновації є найважливішим засобом забезпечення економічного зростання, конкурентоспроможності та фінансової стабільності автотранспортних підприємств.

Інноваційна діяльність – це шлях від наукової ідеї до реального продукту чи послуги, які випускають на ринок, щоб отримати прибуток.



Рис. 1. Система управління інноваційним процесом транспортної галузі

Інноваційна діяльність є невід’ємною складовою виробничо-господарської діяльності автотранспортного підприємства, зорієнтованої на оновлення й удосконалення його виробничих сил та організаційно-економічних відносин.

Позитивний результат і успішна діяльність підприємства багато в чому залежить від його здатності до інноваційної діяльності – діяльності, яка спрямована на використання й комерціалізацію результатів наукових досліджень та розробок і зумовлює випуск на ринок нових конкурентноздатних товарів і послуг.

Нові тенденції в розвитку транспорту та підвищення безпеки демонструють суттєвий технологічний прорив, спрямований на створення сталого майбутнього, оптимізацію руху та захист громадян. Цифровізація транспорту стосується не лише підключення автомобілів до інтернету, але й загальної інтеграції транспортних систем в єдині цифрові платформи.

Сучасні автомобілі можуть отримувати інформацію в реальному часі про дорожній рух, погоду, аварії та інші фактори, що впливають на рух, завдяки системам Vehicle-to-Everything. Ця технологія дозволяє автомобілям взаємодіяти з інфраструктурою, іншими транспортними засобами та навіть пішоходами [3]. Сучасна транспортна інфраструктура України виступає сполучною ланкою в єдиному технологічному циклі різних галузей. Вона не лише визначає рівень транспортних витрат у державі, а й формує загальну результативність економічної діяльності. Оскільки стан галузі корелює з розвитком продуктивних сил, транспорт визнається базовим елементом загальнодержавної інфраструктури.

Головне завдання транспортних підприємств – це вивчення, аналіз і задоволення потреб суспільства у всіх видах транспортних послуг. Нові економічні умови розширили поняття «послуга транспорту». До послуг транспорту відносять: перевозку вантажів і пасажирів; завантажувально-розвантажувальні роботи; зберігання вантажів; підготовку перевізних засобів; представлення перевізних засобів на умовах оренди або прокату; перегон (доставку) нових та відремонтованих транспортних засобів; транспортно-експедиційні послуги та інші послуги [2].

### **Література**

1. Галицький Б., Спіцина А., Інноваційні трансформації автотранспортних підприємств в умовах невизначеності, Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences, 334(5), 668-676. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-334-100>

2. Стратегія розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/gromadske-obgovorennya/2018/10/22/innovatsiynogo-rozvitku-ukraini.pdf>

3. Тенденції розвитку транспортної галузі: вплив цифровізації та новітніх технологій. URL: <http://dancor.sumy.ua/articles/economics/tendenciyi-rozvitku-transportnoyigaluzi-vpliv-cifrovizaciyi-ta-novitnikh-tehnologij> (Зверніть увагу, що сайт може бути недоступним).

УДК 656.11:351.811.122-049.5(4)

## **КЛЮЧОВИЙ ЕЛЕМЕНТ НОВОЇ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПОЛІТИКИ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ**

**Перегуда О.О.**, студент,

**Колосок І.О.**, к.пед.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*

E-mail: kolosok@nubip.edu.ua

Європейська комісія опублікувала результати проекту з ключових показників ефективності безпеки дорожнього руху, які виявляють значні прогалини у дотриманні базових заходів з безпеки серед держав-членів ЄС [3].

Дані окреслюють тривожну картину дотримання вимог щодо швидкості транспортних засобів, особливо в міських умовах. У багатьох країнах дотримання вимог на міських дорогах опускається нижче 50% – саме там, де пішоходи, велосипедисти та інші вразливі учасники дорожнього руху перебувають у зоні найбільшого ризику.

Протягом багатьох років швидкість визнавалася одним із трьох основних факторів, що сприяють смертності на дорогах. І вже понад десять років ETSC (Європейська рада з безпеки транспорту) виступає на користь Intelligent Speed Assistance (інтелектуальні обмежувачі швидкості, ISA) – системи допомоги водієві, яку норвезьке дослідження 2014 року визнало найефективнішою у порятунку життів [2]. ISA – це обов'язкова система для всіх нових автомобілів у ЄС з липня 2024 року, яка автоматично контролює дотримання швидкісних лімітів. Вона зчитує дорожні знаки, використовує GPS-дані та цифрові карти, а також камери та датчики автомобіля. Якщо водій перевищує швидкість, система:

- подає звуковий або візуальний сигнал;
- може обмежити потужність двигуна, щоб не дозволити перевищити ліміт;
- не втручається у гальмівну систему, щоб уникнути аварійних ситуацій.

Автомобілі з такою системою ISA, встановленою на заводі, продаються вже кілька років – частково завдяки рішенням Euro NCAP надавати додаткові бали за автомобілі з ISA.

Основними перевагами ISA є такі:

- зниження аварійності: допомагає уникати ДТП, спричинених перевищенням швидкості;
- економія пального: рух у межах швидкісних лімітів зменшує витрати;
- менше штрафів: водій отримує попередження ще до порушення;
- екологічний ефект: зниження швидкості зменшує викиди CO<sub>2</sub>.

У 2019 році Європейський Союз погодився зробити версію ISA з можливістю відключення, а також низку інших заходів безпеки транспортних засобів, які є обов'язковими для нових моделей автомобілів, проданих у ЄС з липня 2022 року та для всіх нових автомобілів, проданих з липня 2024 року. Однак, якщо автовиробники встановлюватимуть лише системи, які відповідають мінімальним вимогам, потенціал запобігання смертям і травмам буде обмежений у порівнянні з системами, які фактично втручаються, щоб запобігти

перевищенню швидкості водієм.

Комплексна оцінка восьми різних технологій підтримки водія показує, що Intelligent Speed Assistance врятує найбільше життів. Дослідження, проведене Норвезьким інститутом транспортної економіки показало, що загальні суспільні переваги впровадження цієї технології перевищують витрати [1].

ISA – це не просто “електронний нагляд”, а ключовий елемент нової європейської політики безпеки дорожнього руху. Для України його поширення означає поступове наближення до стандартів ЄС.

#### **Література**

1. Intelligent Speed Assistance ‘most effective’ driver support system. URL: <https://etsc.eu/intelligent-speed-assistance-most-effective-driver-support-system/>
2. Intelligent Speed Assistance. URL: <https://etsc.eu/intelligent-speed-assistance-isa/>
3. New EU report reveals critical gaps in road safety across Europe. URL: [https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/new-eu-report-reveals-critical-gaps-road-safety-across-europe-2025-12-10\\_en](https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/new-eu-report-reveals-critical-gaps-road-safety-across-europe-2025-12-10_en)

**СЕКЦІЯ  
ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ**

УДК: 656.073.28(477.51)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АВТОПЕРЕВЕЗЕНЬ ВРОЖАЮ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ПРИКЛАДІ ДІЯЛЬНОСТІ  
ТОВ «АГРОФІРМА БРУСИЛІВ»**

**Дьомін Олександр Анатолійович**, д. пед. н., доцент

**Герасимчук Кіріл Віталійович**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

domin@nubip.edu.ua

Сільське господарство є однією з ключових галузей економіки України, що забезпечує продовольчу безпеку держави та формує значну частину експортного потенціалу. У сучасних умовах підвищення ефективності аграрного виробництва значною мірою залежить не лише від технологій вирощування культур, але й від раціональної організації транспортно-логістичних процесів, зокрема автоперевезень врожаю.

Процес транспортування сільськогосподарської продукції є важливою складовою виробничого циклу, оскільки саме на цьому етапі можуть виникати значні втрати часу, ресурсів і частини врожаю. Особливо актуальним це питання є під час масового збирання зернових і технічних культур, коли необхідно забезпечити безперервність роботи збиральної техніки та своєчасне вивезення продукції з полів.

У даній роботі досліджено процес автоперевезень врожаю на прикладі діяльності ТОВ «Агрофірма Брусилів», яке спеціалізується на вирощуванні зернових та технічних культур. Аналіз показав, що ефективність транспортного обслуговування підприємства визначається комплексом організаційних, технічних та економічних факторів.

Одним із ключових аспектів є організація логістики перевезень. Раціональне планування маршрутів руху транспортних засобів дозволяє значно скоротити час простоїв, оптимізувати використання пального та підвищити загальну продуктивність перевезень. При цьому важливу роль відіграє врахування відстані від полів до складів або елеваторів, стану дорожнього покриття та сезонних умов експлуатації.

Не менш важливим фактором є синхронізація роботи збиральної техніки та транспортних засобів. Неefективна взаємодія між комбайнами та автомобілями призводить до простоїв техніки, що знижує продуктивність збирання врожаю. Забезпечення безперервності технологічного процесу можливе за умови чіткої координації дій операторів та оптимального розподілу транспортних ресурсів.



Рис. 1. Організація автоперевезень врожаю: перевантаження зерна з зернозбирального комбайна в вантажний автомобіль із подальшим транспортуванням до елеватора

Суттєвий вплив на ефективність перевезень має технічний стан автопарку підприємства. Використання застарілих або технічно несправних транспортних засобів призводить до збільшення витрат на ремонт, підвищення ризику аварій та зниження надійності перевезень. Своєчасне технічне обслуговування та оновлення автопарку є необхідною умовою забезпечення стабільної роботи транспортної системи.

Важливим чинником є також відстань перевезень і структура транспортних потоків. Зі збільшенням відстані транспортування зростають витрати часу, пального та експлуатаційні витрати, що безпосередньо впливає на собівартість продукції. У зв'язку з цим виникає необхідність оптимізації транспортних схем, зокрема шляхом використання проміжних пунктів накопичення продукції або раціонального розподілу маршрутів.

Окрему увагу слід приділити втратам продукції під час транспортування. Недотримання правил завантаження, перевезення та розвантаження може призводити до механічних пошкоджень зерна, його розсипання або псування. Це негативно впливає на якість продукції та економічні показники підприємства.

У процесі дослідження діяльності ТОВ «Агрофірма Брусилів» було виявлено ряд проблем, що знижують ефективність автоперевезень врожаю:

1. нерівномірне завантаження транспортних засобів;
2. простой через неузгодженість роботи комбайнів і автомобілів;
3. недостатній рівень використання сучасних інформаційних технологій у логістиці;
4. підвищене зношення транспортних засобів;
5. нераціональне планування маршрутів перевезень.

Для підвищення ефективності автоперевезень доцільно впроваджувати сучасні підходи до управління логістикою. Зокрема, використання систем GPS-моніторингу дозволяє здійснювати контроль за рухом транспортних засобів у режимі реального часу, оптимізувати маршрути та підвищити дисципліну водіїв. Крім того, застосування спеціалізованого програмного забезпечення сприяє більш точному плануванню транспортних процесів.

Важливим напрямом удосконалення є також впровадження елементів цифровізації, що дозволяє автоматизувати процеси обліку, контролю та аналізу транспортних операцій. Це сприяє зниженню витрат, підвищенню прозорості управління та покращенню прийняття управлінських рішень.

Отже, результати дослідження свідчать, що підвищення ефективності автоперевезень врожаю сільськогосподарських культур можливе за умови комплексного підходу, який передбачає оптимізацію логістичних процесів, оновлення матеріально-технічної бази та впровадження сучасних інформаційних технологій. Реалізація запропонованих заходів дозволить підвищити ефективність діяльності ТОВ «Агрофірма Брусилів» та забезпечити зростання його конкурентоспроможності.

### **Література**

1. Дьомін О.А., Загурський О.М. Вантажні перевезення: підручник. Київ: Видавництво «Компринт», 2024. 646.
2. Дьомін О.А., Загурський О.М. Транспортні технології в аграрному виробництві: Навчальний посібник. Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2021. 465.
3. Zagurskyi O., Pokusa T., Zagurska S., Ohienko M., Titova L., Rogovskii I. Ohienko A., Razumova K., Berezova L. Current trends in development of transport and logistics systems of delivery of fast perishable foodstuffs. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2021, 238.

УДК 004.9:656.073-027.543

## **МЕТОД ФОГЕЛЯ ЯК ЗАСІБ РОЗРОБКИ ЕФЕКТИВНИХ МАРШРУТІВ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ**

**Дьомін Олександр Анатолійович**, д. пед. н., доцент

**Блажкун Олександр Сергійович**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: domin@nubip.edu.ua

Сучасні умови розвитку міжнародної торгівлі вимагають підвищення ефективності транспортно-логістичних процесів. Особливо актуальним є питання оптимізації перевезень будівельних матеріалів оскільки наразі саме ця категорія продуктів масового споживання має досить великий попит через воєнні дії на території нашої країни. Раціональне планування маршрутів дозволяє суттєво знизити витрати на перевезення та підвищити конкурентоспроможність автопідприємств.

Одним із ефективних інструментів розв'язання транспортних задач є метод Фогеля, який застосовується для отримання початкового опорного плану перевезень із мінімальними витратами. Метод базується на визначенні штрафів (різниці між двома найменшими тарифами) для кожного рядка та стовпця транспортної матриці, що дозволяє врахувати альтернативні витрати при виборі маршруту.

Алгоритм методу Фогеля включає такі етапи:

1. Формування транспортної матриці, де зазначаються обсяги постачання, попиту та витрати на перевезення.
2. Обчислення штрафів для кожного рядка і стовпця як різниці між двома найменшими тарифами.
3. Вибір найбільшого штрафу, що свідчить про найважливіший напрямок перевезення.
4. Призначення перевезення до клітинки з мінімальною вартістю у вибраному рядку або стовпці.
5. Коригування обсягів постачання та попиту і повторення процедури до отримання повного плану перевезень.

Застосування методу Фогеля при організації міжнародних перевезень будівельних матеріалів дозволяє: мінімізувати загальні транспортні витрати; ефективно розподілити вантажопотоки між пунктами відправлення та призначення; скоротити час планування маршрутів; підвищити рівень використання транспортних засобів; забезпечити обґрунтованість логістичних рішень.

Практичне використання методу Фогеля є особливо актуальним для перевезень між країнами Європи, де існує значна кількість альтернативних маршрутів і різні транспортні тарифи потребують економічно-обґрунтованого вибору.

#### **Література**

1. Дьомін О.А., Загурський О.М. Вантажні перевезення: підручник. Київ: Видавництво «Компринт», 2024. 646.
2. Zagurskyi O., Pokusa T., Zagurska S., Ohienko M., Titova L., Rogovskii I. Ohienko A., Razumova K., Berezova L. Current trends in development of transport and logistics systems of delivery of fast perishable foodstuffs. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2021, 238.

УДК: 656.073:691(477)"364"

### **ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ В УКРАЇНІ ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ**

**Дьомін Олександр Анатолійович**, д. пед. н., доцент

**Одинцов Сергій Юрійович**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: domin@nubip.edu.ua

Перевезення будівельних матеріалів в Україні у 2026 році є стратегічним напрямом, оскільки воно безпосередньо забезпечує потреби швидкої відбудови житла, об'єктів критичної інфраструктури та захисних споруд.

До ключових особливостей цієї логістичної ніші в умовах воєнного стану слід віднести: зміну номенклатури вантажів та пріоритетність і логістичні та інфраструктурні виклики.

Зміну номенклатури вантажів та пріоритетність слід віднести до особливостей які диктуються воєнним станом України. У порівнянні з довоєнним часом, структура будівельних вантажів змістилася в бік матеріалів

для оперативного ремонту та захисту. Особливо це стосується об'єктів критичної інфраструктури та житлового фонду. За вказаним профілем основний пріоритет надається наступним будівельним вантажам:

- збірний залізобетон та блоки. Величезний попит на готові конструкції для будівництва фортифікацій та модульних містечок;
- сипучі матеріали (щебінь, пісок). Необхідні для швидкого відновлення дорожнього покриття та мостових переходів після обстрілів;
- матеріали для енергозахисту. Специфічні перевезення габаритних бетонних плит для створення саркофагів навколо трансформаторних підстанцій та інших критичних інфраструктурних об'єктів.

Логістичні та інфраструктурні виклики полягають в тому, що будівельні матеріали — це зазвичай великовагові або негабаритні вантажі, які створюють додаткові труднощі при їх перевезенні автомобільним транспортом.

Зокрема, обмеження по вазі на тимчасових переправах досить актуальна особливість через те, що багато міжміських маршрутів у деокупованих регіонах пролягають через понтонні або тимчасові мости з лімітом фактичної ваги автотранспортного засобу до 20–24 тонни. Це змушує логістів недовантажувати автомобілі великої вантажності або використовувати менші вантажівки, що здорожує доставку.

Через руйнування залізничних під'їзних колій багато будівельних баз та кар'єрів втратили залізничне сполучення, що переклало весь обсяг перевезень щебеню та цементу на автошляхи.

Ризик «холодних швів» при доставці бетону — одна з актуальних особливостей воєнного стану. Через повітряні тривоги та черги на блокпостах доставка готового бетону міксерами стає ризикованою операцією. Затримка понад 2–3 години може призвести до псування розчину, що призведе до неякісного будівництва після його використання.

#### **Література**

1. Дьомін О.А., Загурський О.М. Вантажні перевезення: підручник. Київ: Видавництво «Компринт», 2024. 646.

УДК: 656.073(477)"364"

### **ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ ПО ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ У МІЖМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ**

**Дьомін Олександр Анатолійович**, д. пед. н., доцент

**Онуфрієвич Сергій Гаврилович**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: domin@nubip.edu.ua

Транспортування вантажів автомобільним транспортом територією України у міжміському сполученні у 2026 році — це складний динамічний процес, який поєднує в собі класичну логістику та специфічні умови воєнного стану і має свої особливості. Враховуючи напрями сфер впливу означених особливостей, їх можна поділити на наступні групи:

- безпеково-режимні особливості;
- інфраструктурні зміни;
- технологічна трансформація та цифровізація;
- структура вантажопотоків.

Розглянемо кожну з наведених груп ключових особливостей детальніше.

Безпеково-режимні особливості являють собою головний фактор, що впливає на швидкість та вартість вантажних автомобільних перевезень. До цієї групи відносяться наступні особливості: наявність комендантської години, введення блокпостів як засобу додаткових перевірок, динамічність маршрутів. Кожна із безпеково-режимних особливостей вносить наступні корективи у процес міжміських автомобільних перевезень. Обмеження руху в нічний час вимагає від логістів ретельного планування «вікон» для виїзду та приїзду автотранспортних засобів. Це часто призводить до накопичення транспорту на в'їздах до великих міст у ранкові години. Блокпости як засобу додаткових перевірок спричиняють необхідність проходження контролю на основних трасах, що значно збільшує час доставки вантажів. Особлива увага тут приділяється документам на вантаж (товарно-транспортна накладна) та відповідності водійських посвідчень категоріям, що передбачає тривалу перевірку кожного транспортного засобу. Особливість пов'язана з динамічністю маршрутів змушує логістичні компанії планувати заздалегідь кілька альтернативних варіантів проїзду між пунктами А та Б через потенційні загрози враження автотранспортних засобів або руйнування автодорожньої інфраструктури.

2. До особливостей, пов'язаних з інфраструктурними змінами належать: децентралізація складів, відновлення мостів і так звані WIM-комплекси.

Децентралізація складів продиктована тим, що спостерігається перехід від великих логістичних хабів до мережі дрібних розосереджених складів у безпечніших зонах. Відновлення мостів як особливість сучасних автоперевезень по території України полягає в тому, що багато маршрутів у прифронтових та деокупованих зонах пролягають через тимчасові переправи або понтонні мости. Це накладає жорсткі обмеження на максимально-допустиму вагу автомобіля (наприклад, до 20 тонн) та інші основні показники габаритно-вагового контролю. До сфери означеного контролю відносяться також WIM-комплекси. Абревіатура WIM розшифровується як «Weight-in-Motion», що в перекладі з англійської означає «вантажі в русі». Тобто ця особливість полягає у посиленні контролю за автоперевантаженням через автоматичні системи зважування в русі, що змушує перевізників суворо дотримуватися нормативів (стандартно загальна маса АТЗ до 40 тон для доріг загального користування).

3. Технологічна трансформація та цифровізація як група особливостей включає в себе: електронну ТТН (е-ТТН), моніторинг у реальному часі, паливну автономність автотранспортних засобів.

Впровадження електронної ТТН полягає у переході на повністю цифровий документообіг. Ця особливість стає обов'язковою вимогою бо значно пришвидшує взаєморозрахунки та зменшує паперову бюрократію.

Моніторинг у реальному часі діє на автодорогах України вже давно. Це використання GPS-трекерів та інтегрованих TMS-систем (Transportation Management Systems). Проте під час війни з росією він набув особливої актуальності бо дозволяє клієнтам бачити місцезнаходження вантажу, що критично важливо для відслідковування його безпеки в умовах України.

Паливна автономність - дуже бажана особливість як умова стабільності автоперевезень в Україні. Автозаправні станції (АЗС) та паливосховища періодично піддаються бомбардуванням. Тому багато міжміських перевізників обладнують свої бази власними резервуарами палива та генераторами, щоб не залежати від стабільності роботи АЗС та енергомережі.

4. Структура вантажопотоків – одна з основних особливостей, що була актуалізована з початком повномасштабної російської воєнної агресії. Ця особливість полягає у зміні пріоритетів на види вантажів у міжміських вітчизняних вантажопотоках. Велика частка міжміських перевезень припадає на товари критичного імпорту, гуманітарні вантажі, будівельні матеріали для відновлювальних робіт та продукцію АПК (зерно, добрива). Також поширюється напрям LTL (Less than Truckload) – перевезення декількох невеликих партій вантажів в одному автомобілі. Таке зростання попиту на перевезення збірних (дрібнопартійних) вантажів доводить, що компаніям-перевізникам вигідніше відправляти невеликі партії товару частіше, ніж накопичувати велику партію на одному вразливому складі.

Міжміські перевезення в Україні у 2026 році вимагають від бізнесу максимальної гнучкості. Перемагають ті компанії, які мають цифровізоване управління, власний парк паливозаправників та здатні швидко адаптувати маршрути під поточну ситуацію на дорогах.

#### **Література**

1. Дьомін О.А., Загурський О.М. Вантажні перевезення: підручник. Київ: Видавництво «Компринт», 2024. 646.
2. Zagurskyi O., Pokusa T., Zagurska S., Ohienko M., Titova L., Rogovskii I. Ohienko A., Razumova K., Berezova L. Current trends in development of transport and logistics systems of delivery of fast perishable foodstuffs. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2021, 238.

УДК: 656.073.43:355.01:629.43](477)

### **ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ «КЛАРКА-РАЙТА» ПРИ ПЛАНУВАННІ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ В УМОВАХ МІСТА КИЇВ**

**Дьомін Олександр Анатолійович**, д. пед. н., доцент

**Репінський Євгеній Андрійович**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: domin@nubip.edu.ua

Організація перевезень харчових продуктів у міських умовах в 2026 році супроводжується рядом викликів, пов'язаних із перевантаженістю транспортної

мережі, обмеженнями руху та підвищеними вимогами до якості доставки. Ефективне планування маршрутів стає ключовим фактором забезпечення безперебійного постачання продуктів харчування, особливо в умовах нестабільної міської інфраструктури.

Одним із ефективних інструментів оптимізації маршрутів є метод «Кларка–Райта». Цей метод дозволяє мінімізувати транспортні витрати за рахунок об'єднання маршрутів доставки та скорочення загальної довжини пробігу транспорту.

Розглянемо доцільність застосування даного методу детальніше через призму основних проблем міських перевезень, таких як транспортно-організаційні виклики міста, логістичні обмеження при доставці харчових продуктів та економічна ефективність використання методу.

Стосовно транспортно-організаційних викликів, то Київ має типові для великого мегаполіса проблеми з транспортом. Найбільш відчутна з них — це постійні затори, особливо у години пік, коли навіть короткі відстані можуть займати значно більше часу, ніж планувалося.

Це добре видно на реальних картах завантаженості доріг, де центральні магістралі та мости часто “червоні” майже протягом усього дня (рис.1).



Рис.1. Затор на одній з ключових магістралей міста Київ у годину пік

Окрім цього, є нерівномірність руху: вранці місто перевантажене через поїздки на роботу, ввечері — через повернення додому. Додатково ускладнюють ситуацію обмеження для вантажного транспорту в центральних районах, через що доставці доводиться будувати довші об'їзні маршрути.

У таких умовах метод Кларка–Райта дозволяє зменшити кількість окремих рейсів, об'єднуючи замовлення в один маршрут. Це означає менше поїздок по перевантажених дорогах і більш стабільний графік доставки.

Логістичні обмеження при доставці харчових продуктів полягає в тому, що вказана доставка має свою специфіку, яка робить процес складнішим, ніж перевезення більшості інших товарів. По-перше, це обмежений термін зберігання, особливо для молочної продукції, м'яса, овочів чи готових страв. По-друге, часто необхідно підтримувати холодний ланцюг, тому використовується рефрижераторний транспорт.

Також у міській логістиці поширена модель, коли постачання відбуваються невеликими партіями, але часто. Це створює велику кількість точок доставки, що ускладнює маршрути і збільшує час у дорозі.

Метод Кларка–Райта в цьому випадку дозволяє “згрупувати” замовлення так, щоб одна машина могла обслуговувати декілька точок за один виїзд. Це зменшує час перевезення, знижує ризики псування продуктів і дозволяє більш ефективно використовувати холодильний транспорт, який сам по собі є дорогим в експлуатації.

Ще один важливий аспект — це витрати. У міських умовах основні витрати логістики формуються з пального, амортизації транспорту, оплати праці водіїв і простоїв у заторах. Коли маршрут побудований неефективно, компанія фактично платить за зайві кілометри і втрачений час.

Метод Кларка–Райта дозволяє скоротити загальний пробіг транспорту шляхом об'єднання маршрутів і зменшення кількості рейсів. У результаті компанія може використовувати менше автомобілів або виконувати ту саму кількість доставок із меншими витратами.

У масштабі Києва навіть невелике скорочення маршруту дає відчутний економічний ефект, особливо якщо йдеться про щоденні поставки в торгові мережі та заклади харчування. Саме тому такі методи стають все більш актуальними в міській логістиці.

### **Література**

1. Дьомін О.А., Загурський О.М. Вантажні перевезення: підручник. Київ: Видавництво «Компринт», 2024. 646.

УДК: 631.315.2.001.61

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ТВЕРДИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ**

**Дьомін Олександр Анатолійович**, д. пед. н., доцент

**Руденко Дмитро Олександрович**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: domin@nubip.edu.ua

Перевезення добрив - технічно складний процес, що вимагає використання спецтранспорту, захисту добрив від атмосферних опадів, людей і навколишнє середовище від шкідливого впливу добрив. Значна частина добрив небезпечна і вимагає спеціальних транспортних документів. Персонал, який бере участь у перевезенні добрив, повинен бути спеціально навчений і мати засоби захисту та усунення небезпечних наслідків у разі виникнення аварійних ситуацій на шляху

прямування.

Транспортний процес перевезення твердих мінеральних добрив є складною логістичною системою, що потребує врахування специфічних вимог до безпеки, збереження вантажу та ефективності використання транспортних ресурсів. Значна частина добрив належить до потенційно небезпечних вантажів, що обумовлює необхідність дотримання відповідних нормативних вимог під час їх транспортування. Проаналізовано сучасний стан перевезень, зокрема використання автомобільного транспорту для доставки продукції невеликими партіями до споживачів.

Проведено обґрунтування вибору транспортних засобів для перевезень твердих мінеральних добрив ПАТ «Одеський припортовий завод». На даний час «Одеський припортовий завод» працює на потреби України, через здорожчання основної сировини природного газу, яка в собівартості карбаміду складає до 90%. Внаслідок падіння обсягів виробництва, відправки проводяться автомобільним транспортом невеликими партіями до регіональних компаній. Здебільшого транспортно-технологічні схеми будуються на базі автомобільного транспорту.

У процесі дослідження розроблено варіанти маршрутів перевезення із застосуванням логістичних підходів до їх оптимізації. Зокрема проведено модернізацію рухомого складу. Замість автомобіля Ford 1830T ми рекомендуємо використовувати автомобіль Ford Trucks 2533 NR як більш економічний і продуктивний.

Формування маршрутів здійснювалося з урахуванням мінімізації пробігу, раціонального використання транспортних засобів та зниження витрат на перевезення. Запропоновані маршрути дозволяють уникнути нераціональних переміщень і забезпечують ефективну організацію транспортного процесу.

Розроблено оптимальні маршрути перевезень твердих мінеральних добрив за методом Кларка-Райта від ПАТ «Одеський припортовий завод» до мережі споживачів. Доцільно використовувати кільцеві маршрути замість маятникових. Це сприяє зменшенню витрат та підвищенню ефективності перевезень. Використання оптимізованих маршрутів дозволяє скоротити експлуатаційні витрати та покращити організацію логістичних процесів.

Впровадження кільцевих рейсів має й економічну ефективність зниження витрат на виконання запланованого обсягу робіт в порівнянні з маятниковими маршрутами виконання даного обсягу робіт. Таким чином, удосконалення організації транспортного процесу перевезення твердих мінеральних добрив є важливим напрямом підвищення ефективності діяльності підприємств та може бути використане як основа для подальших наукових досліджень.

### **Література**

1. Дьомін О.А., Загурський О.М. Вантажні перевезення: підручник. Київ: Видавництво «Компринт», 2024. 646.
2. Дьомін О.А., Загурський О.М. Транспортні технології в аграрному виробництві: Навчальний посібник. Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2021. 465.

УДК 656.223

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ РОЗПОДІЛУ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ НА РОЗПОДІЛЬЧОМУ ХАБІ**

**Ломотько Денис Вікторович** д.т.н., професор  
e-mail: den@kart.edu.ua

**Нестеренко Олександр Олександрович**, аспірант  
e-mail: nesterenko8@kart.edu.ua

*Український державний університет залізничного транспорту (м.Харків)*

Сучасні дослідники вирішують задачі з підвищення ефективності маршрутизації вантажів на території контейнерних терміналів, такі задачі є багатофакторними, і вимагають балансу між мінімізацією операційних витрат та максимізацією задоволеності клієнтів, вираженою через дотримання Угоди про Рівень Обслуговування [1] (Service Level Agreement, SLA).

Численні дослідження зосереджуються або на класичних евристичних (наприклад, FIFO), які часто призводять до високих штрафів SLA через ігнорування термінів, або на жорсткій логістичній оптимізації (максимізація утилізації), що підвищує ризик накопичення критичного вантажу.

Вже зараз транспортна система країни знаходиться в навантаженому стані, у ході війни багато шляхів, мостів і складських приміщень було зруйновано, що значно знижує швидкість логістики [2].

На фоні безлічі досліджень з різних провідних логістичних шкіл світу, можна вибрати різні напрямки розвитку логістично-технологічних системи в нашій країні.

Актуальність цього дослідження, визначається необхідністю розв'язання складної задачі оптимізації в умовах стохастичного попиту нерівномірного надходження палетизованих вантажів на контейнерний хаб, удосконалення технології маршрутизації на базі порівняльного аналізу декількох стратегій маршрутизації, з використанням стохастичної валідації на основі 95% довірчих інтервалів, що забезпечить отримання надійних висновків в умовах стохастичного попиту.

Суть моделювання полягає у порівнянні того, як різні стратегії управління чергою та прийняття рішень про накопичення вантажу, утилізацію контейнерного простору та відправлення контейнера впливають на інтегрований технічний, технологічний результат та фінансовий показник чистого прибутку. А також вибір між утилізацією контейнерного простору та вантажо-під'ємності, що в свою чергу дозволить зменшити витрати вантажовідправника вимагає комплексного підходу, поєднання існуючих технологій з інноваціями та адаптації до логістичних вимог. [2], а відповідно й вартість товарів.

Така математична модель може враховувати основні обмеження на вантажі, їх укомплектування, сортування, обмеження по ваговим, або геометричним показникам, об'ємі, ваги, часу надходження, критичності простою, класу штабелювання, % утилізації контейнерного простору, напрямку

призначення. Визначення розміщення та штабелювання вантажів буде використовувати цей ключовий набір обмежень.

Структурно – логістична схема може виглядати приблизно так, та відобразити основні етапи моделювання та взаємозв'язки компонентів моделі.

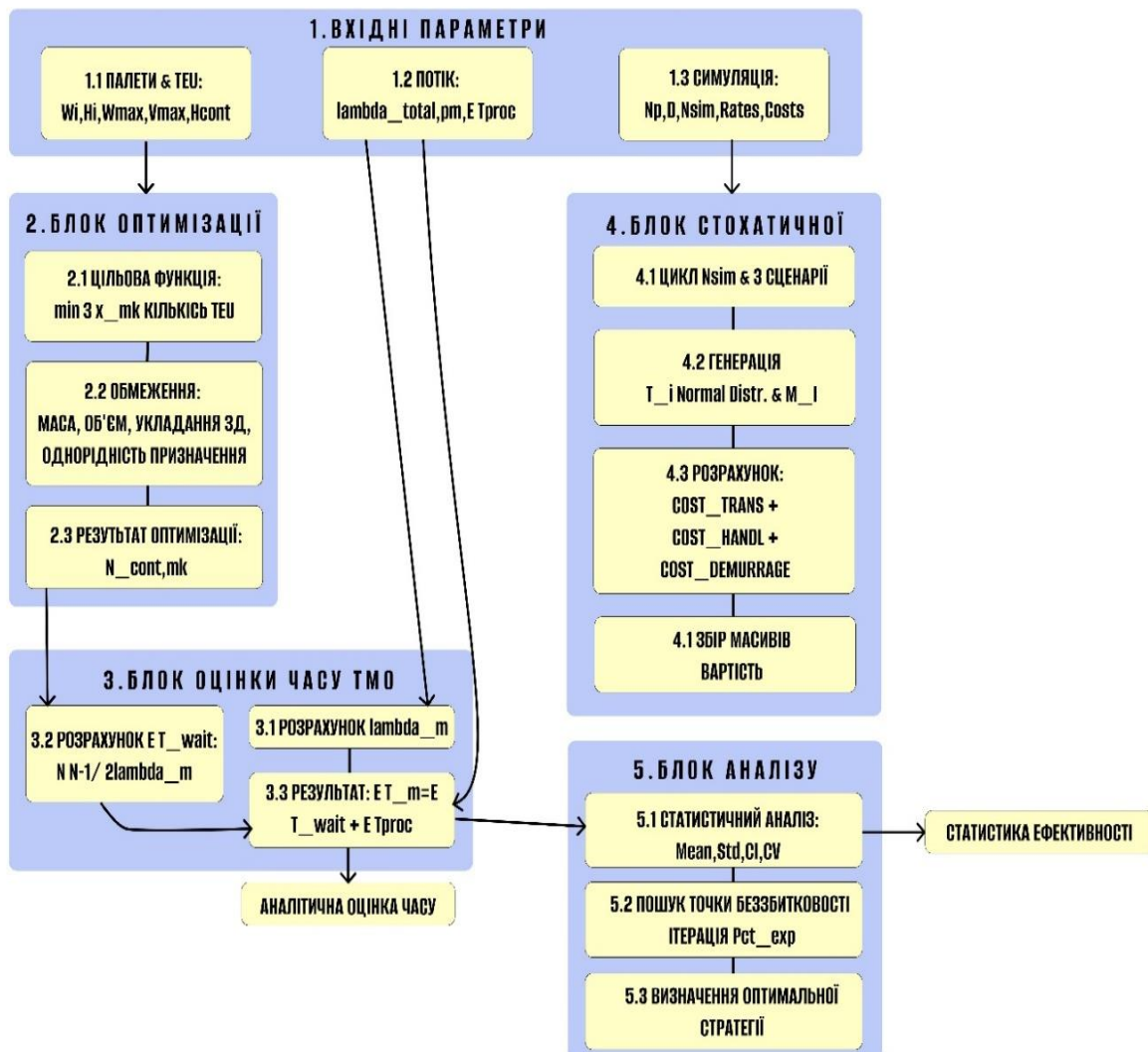


Рисунок 1 – Проект структурно-логічної схеми

Запропонована математична модель дозволяє оптимізувати процеси розподілу контейнерів, враховуючи обмеження пропускної здатності хабу, часові вікна доставки та наявні ресурси. Теоретично, практична реалізація розробленої технології забезпечує мінімізацію загальних логістичних витрат та скорочення часу обробки вантажів на терміналі.

### Література

1. Що таке service level agreement? Запит 19.03.2026 <https://ua.icon.partners/post/sho-take-service-level-agreement>
2. Стан логістики в Україні у 2024 році: нові виклики та можливості. Запит 19.03.2026 <https://surl.li/qintk>
3. Ломотько Д.В., Нестеренко О.О Імпорт товарів широкого споживання та гуманітарної допомоги, сучасні виклики III Всеукраїнська наукова конференція

здобувачів освіти і молодих учених «Відбудова транспортної інфраструктури України». Збірник тез доповідей. – К.: НТУ, 2025 ст. 234-235

УДК 656.073:338.27

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ДЛЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**Прокудін Георгій Семенович**, д.т.н., професор

e-mail: p\_g\_s@ukr.net

**Даніва Валерія Андріївна**, студентка

e-mail: lera.daniva@gmail.com

**Салада Анастасія Тарасівна**, студентка

e-mail: saladanasta@gmail.com

*Національний транспортний університет*

Сучасний розвиток міжнародних автомобільних перевезень характеризується зростанням обсягів вантажопотоків, ускладненням логістичних ланцюгів та підвищенням вимог до якості транспортного обслуговування. У таких умовах ефективне функціонування транспортної інфраструктури потребує застосування комплексних підходів, які поєднують аналіз, прогнозування та оцінювання ключових факторів впливу.

Основна ідея полягає у формуванні цілісної системи прийняття рішень у сфері міжнародних перевезень, де кількісні методи аналізу доповнюються якісними експертними оцінками. Такий підхід дозволяє враховувати як реальні статистичні дані, так і особливості функціонування транспортних компаній у динамічному середовищі.

Аналіз помісячних обсягів міжнародних автомобільних перевезень дозволяє виявити нерівномірність транспортних потоків, сезонні коливання та періоди пікового навантаження на транспортну інфраструктуру. Це створює основу для більш ефективного управління перевезеннями, планування маршрутів і оптимізації використання рухомого складу. Виявлені тенденції дозволяють своєчасно реагувати на зміни попиту та уникати перевантаження окремих транспортних коридорів.

Застосування методів прогнозування, зокрема побудови ліній тренду, дозволяє оцінити майбутні зміни в обсягах перевезень і визначити можливі ризики для транспортної системи. Прогнозування сприяє підвищенню ефективності планування діяльності транспортних компаній, дозволяє оптимізувати витрати та забезпечити стабільність виконання міжнародних контрактів. Порівняння прогнозних і фактичних показників створює можливість вдосконалення аналітичних моделей і підвищення точності управлінських рішень. Ранжування дозволяє визначити пріоритетні напрями вдосконалення діяльності та зосередити ресурси на найбільш проблемних аспектах.

Використання методу експертних оцінок забезпечує можливість врахування професійного досвіду фахівців при оцінюванні складних і

багатофакторних процесів. Це дозволяє отримати більш глибоке розуміння впливу окремих чинників і визначити їх значущість у системі міжнародних перевезень. Узгодженість думок експертів виступає важливим показником надійності результатів і дозволяє підвищити обґрунтованість прийнятих рішень.

Умови функціонування міжнародного транспорту часто характеризуються невизначеністю, яка пов'язана зі змінами зовнішнього середовища, нестачею повної інформації та складністю прогнозування окремих процесів. У таких випадках доцільним є застосування методів, що дозволяють працювати з нечіткими даними. Використання методу розмитих коефіцієнтів забезпечує більш точне ранжування факторів, зменшує вплив суб'єктивності оцінок та підвищує достовірність результатів.

Поєднання аналізу транспортних потоків, прогнозування їх змін, експертного визначення факторів впливу та врахування невизначеності формує єдину аналітичну систему управління міжнародними перевезеннями. Такий підхід дозволяє забезпечити узгодженість між поточними показниками діяльності, очікуваними змінами та стратегічними напрямками розвитку.

Таким чином, сучасні аналітичні та експертні підходи виступають основою для формування ефективної системи управління міжнародними автомобільними перевезеннями. Їх інтеграція забезпечує можливість прийняття обґрунтованих рішень, підвищення конкурентоспроможності транспортних компаній та стабільного функціонування транспортної системи країни.

#### **Література**

1. Гур'янова Л.С., Єрмоєнко В.В. Економетрика : навч. посіб. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – 384 с.
2. Черняк О.І., Ставицький А.В. Економетрика : підручник. – Київ : Знання, 2010. – 359 с.
3. Бідиюк П.І., Романенко В.Д., Тимошук О.Л. Нечіткі множини та нечітка логіка : теорія та застосування. – Київ : Вільямс, 2008. – 560 с.
4. Прокудін Г.С. Прогнозування переміщення автотransпортних засобів через митний кордон України / Г.С. Прокудін, І.А. Мельников, П.К. Поляк // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки». Том 36 (75) № 1, 2025, С. 301-307.

УДК 656.1/5

### **РОЛЬ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В ПЕРЕВЕЗЕННІ МАСОВИХ ВАНТАЖІВ**

**Бех Петро Вікторович**, к.т.н., доцент  
*Український державний університет науки і технологій*  
e-mail: bekhpit@gmail.com

Масові вантажі становлять понад 60% світового вантажообігу, що робить їх ключовим елементом глобальної економіки.

Автомобільний транспорт слід розглядати як доповнення до залізничного транспорту, а не як прямого конкурента. Зокрема, сферами застосування автомобільного транспорту можуть бути:

- транскордонна торгівля в невеликих обсягах;
- перевезення на далекі відстані, де відсутні залізничні лінії або вони не можуть забезпечити ефективні послуги для певних товарів (швидкопсувних, цінних тощо);
- як автомобільна складова в системі інтермодального залізничного транспорту.

Автомобільним транспортом на міжнародних маршрутах перевозяться, головним чином, більш цінні, швидкопсувні та інші термінові вантажі. Найбільшу частку в міжнародних перевезеннях автомобільним транспортом в Україні в мирний час займали будівельні матеріали (понад 30%), продукти рослинного і тваринного походження, продукти харчування та інші – майже 35%. Однак перевезення даних вантажів здійснюється, головним чином, на невеликі відстані, на яких залізничні перевезення не ефективні.

В дослідженнях, зроблених раніше, розглядаються тільки питання в плані планування виробництва, управління запасами, а такий важливий компонент як вибір системи доставки продукції і його вплив на результати діяльності підприємств є найменш дослідженим. На важливість цього аспекту вказує той факт, що за деякими видами продукції витрати на виробництво становлять лише близько 10% вартості продукції, що значно менше витрат на розподіл, у тому числі на доставку продукції.

### **Література**

1. Бех, П. В., Лашков, О. В., Огороков, А. М., Заруба, О. В. (2025). Прийняття рішень по організації автомобільних перевезень в умовах невизначеності оцінок. Транспортні системи та технології перевезень, (30), 98–104. <https://doi.org/10.15802/tstt2025/340144>.

2. Бех, П. В., Лашков, О. В., Огороков, А. М. (2025). Організація міжнародних мультимодальних перевезень з врахуванням ризиків. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки», Том 36 (75) № 1 2025, Частина 1, С. 283-288. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.1.1/41>.

УДК 656.073

## **ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ ТА УЗГОДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ РОБОТИ НА МІЖНАРОДНИХ АВТОПЕРЕВЕЗЕННЯХ**

**Бондарєв Сергій Іванович**, к.т.н., доцент,

**Іщенко Олексій Олександрович**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: [oleksiy859@gmail.com](mailto:oleksiy859@gmail.com)

Для досягнення високої економічної віддачі від перевізної діяльності необхідно безперервно контролювати ситуацію та впроваджувати науково обґрунтовані методики створення систем перевезень. Важливо враховувати

раціональне використання вантажного рухомого складу, людського капіталу, пакувальних матеріалів і застосовувати передові управлінські рішення для переміщення товарних потоків між пунктами відправлення та призначення найефективнішими шляхами. Значну роль відіграє оцінка впливу зовнішніх чинників: стану шляхової мережі, ринкової кон'юнктури та нерівномірності обсягів перевезень, що дозволяє узгодити роботу транспортних ланок і підвищити результативність логістичних процесів [1,3].

Центральним завданням є формування оптимальних розкладів подачі автотранспорту з урахуванням часових рамок і ймовірності затримок, що мінімізує простої та підвищує коефіцієнт використання рухомого складу. Дослідження сфокусовані на застосуванні математичного апарату для синхронізації роботи транспортного та вантажного оснащення у визначені проміжки [2].

При плануванні міжнародних маршрутів враховуються керовані та некеровані фактори. Некеровані включають кількість митниць, час проходження пунктів контролю та довжину рейсу. Керовані фактори охоплюють сумарний час простою, час зміни, кількість перерв і тривалість однієї перерви водія. Деякі фактори мають частково керований характер: наприклад, сумарний час простою змінюється за рахунок внутрішнього планування та зовнішніх затримок. Така класифікація дозволяє точніше формувати математичні моделі та підвищувати ефективність планування міжнародних перевезень.

Після ґрунтовного аналізу, було виведено співвідношення для тривалості простоїв, спричинених технічними та іншими причинами, яке застосовується для конструювання моделі розрахунку часу виконання міжнародних оборотних рейсів, що у підсумку підвищує ефективність планування транспортних заходів. В загальному вигляді маємо таку залежність:

$$t_{об} = t_n + t_{розв.} + 2 \cdot n_{мит} \cdot t_{мит} + \frac{L_{об} \cdot (T_{зм} + (N_{пер} t_{пер} + t_{цo}))}{V_m T_{зм}} \quad (1)$$

де  $t_n$  – час навантаження;  $t_{розв.}$  – час розвантаження;  $n_{мит}$  – кількість митниць;  $t_{мит}$  – час проходження митного контрольно-пропускного пункту;  $t_{пер,цo}$  – сумарний час простою (перерви і щоденні відпочинки водіїв);  $L_{об}$  – довжини рейсу;  $T_{зм}$  – час зміни;  $N_{пер}$  – кількість перерв протягом однієї зміни;  $t_{пер}$  – час на проведення однієї перерви водія.

За результатами проведених досліджень нами обґрунтовано сутність існуючої проблеми щодо узгодження функціонування автотранспортних засобів та вантажно-розвантажувальних механізмів складських комплексів при виконанні міжнародних автомобільних перевезень. Встановлено, що недостатня синхронізація зазначених елементів призводить до збільшення простоїв, неефективного використання ресурсів і зниження загальної продуктивності транспортного процесу. Особливу увагу приділено аналізу організаційних засад формування режимів праці та відпочинку екіпажів транспортних засобів відповідно до чинних нормативних вимог, що регламентують тривалість керування, перерв та відпочинку водіїв [2, 3].

У ході дослідження узагальнено основні фактори, які впливають на тривалість виконання рейсів, та визначено їх взаємозв'язок із параметрами транспортного процесу. На основі отриманих результатів запропоновано математичну модель для визначення часу виконання міжнародного оборотного рейсу з урахуванням обмежень тривалості роботи і відпочинку водіїв, встановлених Європейською угодою щодо роботи екіпажів транспортних засобів, що дозволяє підвищити точність планування перевезень.

### **Література**

1. Бондарев С. І. Планування тривалості роботи екіпажів водіїв на міжнародних автомобільних перевезеннях : тези доп. X Міжнар. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання», 2023 / С. І. Бондарев. – Київ : Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України, 2023. – С. 45-52.

2. Бондарев С. І. Особливості оперативного управління транспортним процесом в міжнародних автомобільних перевезеннях : тези доп. II Міжнар. конф. «Автомобільний транспорт та інфраструктура», 2019 / С. І. Бондарев. – Київ : Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України, 2019. – С. 33-40.

3. Бондарев С. І. Обґрунтування математичної моделі тривалості рейсу при міжнародних автоперевезеннях : тези доп. / С. І. Бондарев // Зб. тез конференції. – Київ : Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України, 2024. – С. 12-19.

УДК 656.131(072)

## **ІНСТРУМЕНТИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ ЯК ОСНОВА ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**Бондарев Сергій Іванович**, к.т.н., доцент,

**Заярний Сергій Олександрович**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: sergiyzay1@gmail.com

Більшість середніх і великих міст в Україні та й, загалом в усьому світі, використовують моделі щодо прогнозування попиту на транспортні послуги як частину поточних процесів планування, хоча і з різним ступенем деталізації та складності. Ці моделі використовуються у кілька способів:

- оцінити майбутній обсяг перевезень як функцію очікуваного зростання населення і робочих місць та визначити вплив цього майбутнього попиту на наявну і заплановану пропускну здатність транспортної системи. На основі цього можна визначити потребу в нових потужностях і терміни їх створення;

- перевірити вплив різних варіантів або напрямків для покращення транспортної системи – наприклад, оптимальне розташування нового мосту;

- визначити пріоритети – наприклад, яку ділянку запропонованої мережі транспорту слід побудувати першою і коли;

- визначити вплив на дорожній рух великих нових об'єктів, таких як новий торговельний центр або лікарня або альтернативних сценаріїв розвитку – наприклад, передбачуваної кількості робочих місць або житлових одиниць.

- вивчити вплив різних політик на транспортний рух – наприклад, дорожніх зборів або заходів з управління попитом на транспортні послуги.

Деякі моделі дозволяють аналізувати ці політики окремо, хоча рівень точності варіюється. Ці моделі часто слугують основою для подальших детальних аналізів. Попит на подорожі є похідним попитом. Люди подорожують, а товари перевозяться, як функція людської діяльності. Ця діяльність представлена в моделі як демографічні, соціально-економічні змінні та змінні землекористування, такі як чисельність населення, зайнятість та кількість житлових одиниць відповідно. Попит на транспортні послуги також формується транспортною системою і впливає на неї. Доступність різних видів транспорту, їх відносні часові та грошові витрати, а також відносна легкість доступу до одного місця порівняно з іншим визначають, як мандрівники використовують транспортну систему. На рис. 1 наведено основні вхідні дані, процеси та результати "традиційної" парадигми моделювання попиту на транспортні послуги –чотири основні складові процесу.



Рис. 1. Чотирьохетапний процес моделювання попиту на подорожі на основі поїздок

При визначенні «транспортної зони» - міська територія поділяється на невеликі просторові аналітичні зони. Як правило, транспортні аналітичні зони визначаються так:

- однорідні земельні ділянки, такі як житлові квартали, центральні ділові райони та промислові райони;
- основні "генератори трафіку", такі як університети, лікарні, торгові центри та аеропорти;
- природні або створені людиною географічні межі, такі як річки або залізниці.

Межі повинні бути незалежними від транспортної системи, яка моделюється. Зокрема дороги та автомагістралі не повинні використовуватися як межі, оскільки вони є частиною мережі, що моделюється. Використання мережі, що моделюється, як межі створює неоднозначність у подальшому аналізі – наприклад, при створенні мережі підрайонів.

Таким чином, стратегічні настанови мають стосуватись параметрів, які впливають на загальний попит на перевезення або на використання конкретного об'єкта чи виду транспорту. Параметри встановлюються власником чи оператором об'єкта. Деякі з них застосовуються до всієї транспортної системи або до цілого об'єкта; наприклад, транзитні тарифи, дорожні збори та плата за паркування є загальнозживаними "ціновими" параметрами. Інші стратегічні настанови можуть бути локалізовані, наприклад, перетворення центральної частини міста на вулиці з одностороннім рухом, встановлення правил паркування для новобудов або додавання реверсивних смуг на головних магістралях, що ведуть до центру міста та з нього. Параметри ціноутворення встановлюються ринком, наприклад, ціни на паливо, або визначаються іншим чином, наприклад, витрати на експлуатацію транспортних засобів.

Деякі параметри політики можуть включати дозволи та обмеження в процесі використання системи, наприклад, обмеження поворотів або заборони маршрутів для вантажівок тощо.

### **Література**

1. Zagurskiy, O., Methods of reliability management in supply chain: 22<sup>nd</sup> International Scientific Conference Engineering for rural development Proceedings, May 24-26, 2023 / O. Zagurskiy, M. Pivtorak, S. Bondariev, O. Demin, I. Kolosok. - Jelgava, Volume 2023. – p. 78-84.
2. Бондарев, С. І. Принципи оцінки якості послуг громадського транспорту в містах. Збірник тез доповідей. VI Міжнародна науково-практична конференція «Автомобільний транспорт та інфраструктура» // С. І. Бондарев. – К.: 2023. – С. 14-16.
3. Бондарев, С. І. Актуальні проблеми на пасажирському транспорті та взаємовідносин з державою: Збірник тез доповідей. VI Міжнародна науково-практична конференція «Автомобільний транспорт та інфраструктура» // С. І. Бондарев. – К.: 2023. – С. 14-16.
4. Lerner, N., Williams, A., and Sedney, C. (1988). Risk perception in highway driving: Executive summary (Report No. FHWA Project No. DTFH61–85-C-00143). Washington, DC: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

УДК 656.1

## **ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТУВАННЯМ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНІЙ ЛОГІСТИЦІ**

**Бондарєв Сергій Іванович**, к.т.н., доцент,  
**Могильний Віктор Олександрович**, студент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
e-mail: victor.mohilny@gmail.com

Низка негараздів, які виникають у багатьох установах, що займаються міжнародними автоперевезеннями (МАП) у напрямку Україна – Європейський Союз, є нагальними та вимагають комплексного розв'язання. Серед головних перешкод, які спостерігаються при використанні різних типів транспорту та залученні найманих транспортних одиниць, слід відзначити значні грошові видатки, пов'язані з доставкою вантажів, а також високий ступінь необґрунтованих та наднормативних зупинок на митних пунктах пропуску. Ці зупинки спричиняють затримки у доставці, що, відповідно, впливає на дієвість логістичних процесів та загальну конкурентоздатність фірм.

Окрім зазначеного, рівень організації, планування та нагляду у сфері управління перевезеннями, як правило, не відповідає сучасним ринковим засадам, які висуваються до транспортно-логістичних послуг у європейському просторі. Часто помічається низька якість обслуговування клієнтів, недостатній рівень автоматизації та слабке застосування сучасних інформаційних технологій у сфері транспортування.

Задля подолання згаданих негараздів, на нашу думку, необхідно здійснити низку стратегічних та тактичних кроків, спрямованих на оптимізацію МАП. Серед найважливіших шляхів поліпшення ситуації варто виокремити розробку та впровадження практичних порад з організації ефективного оперативного керування транспортними процесами, що ґрунтуються на використанні сучасних цифрових платформ та систем спостереження. Також важливим є прийняття обґрунтованих управлінських рішень у режимі реального часу, що дозволяє оперативно реагувати на зміни обстановки під час транспортування вантажів.

Окрему увагу слід звернути на створення конкурентних умов для активної участі вітчизняних перевізників у міжнародному транспортному процесі. Це передбачає як грошову, так і організаційну підтримку з боку держави, включаючи стимулювання модернізації автопарку та підвищення професійної майстерності персоналу.

Нарешті, одним із ключових напрямків розвитку є широке впровадження методів і засобів інтелектуальних транспортних систем (ІТС) на всіх рівнях оперативного керування МАП. Використання ІТС дозволить суттєво підняти ефективність логістичних операцій, забезпечити більшу прозорість процесів, зменшити видатки та підвищити загальну якість наданих послуг.

Оперативне керування на міжнародних автомобільних перевезеннях (МАП) охоплює вирішення широкого кола поточних завдань, безпосередньо пов'язаних із функціонуванням процесу транспортування вантажів. Основною метою такої

діяльності є забезпечення стабільної, безперебійної, ритмічної та узгодженої взаємодії усіх учасників логістичного ланцюга. Це включає злагоджену роботу перевізників, логістів, операторів, митних служб та інших структур, залучених у переміщенні вантажів з України до країн Європейського Союзу та у зворотному напрямку.

Насамперед оперативне керування передбачає постійний моніторинг обстановки, вчасне реагування на зміни, ухвалення управлінських рішень у режимі реального часу, а також впровадження сучасних інформаційних технологій для підвищення ефективності перевезень. Особлива увага приділяється координації дій на кожному етапі транспортного процесу – від завантаження і оформлення документів до доставки вантажу кінцевому споживачеві.

У межах даної наукової роботи було запропоновано та впроваджено до структури оперативного керування одне з найсучасніших технологічних рішень – систему “FMS” (Fleet Management System), встановлену на рухомому складі. Застосування даної системи дало змогу значно розширити можливості нагляду за технічним і логістичним станом автотранспортних засобів, а також забезпечити прозорість процесів, пов’язаних із витратами палива.

Система “FMS” забезпечує автоматичний збір та передачу детальної інформації про реальне споживання пального, час та обсяги заправок, шляхи руху, а також інші ключові параметри функціонування автотранспорту. Це, своєю чергою, дозволяє не лише своєчасно виявляти та усувати відхилення від заданих норм, але й приймати обґрунтовані рішення для підвищення економічної дієвості перевезень.

Таким чином, впровадження FMS стало важливим кроком у напрямку цифровізації оперативного керування МАП та підвищення якості логістичного обслуговування. Особливу увагу в роботі віднесено до економічної сторони проблеми вибору РС для МАП, яка тісно пов’язана з видатками на їх придбання. Вартість старого рухомого складу мало залежить від марки і визначається переважно терміном служби (рис. 1).

Орієнтуючись на цю перспективу, матимемо обмеження до поставленої задачі.

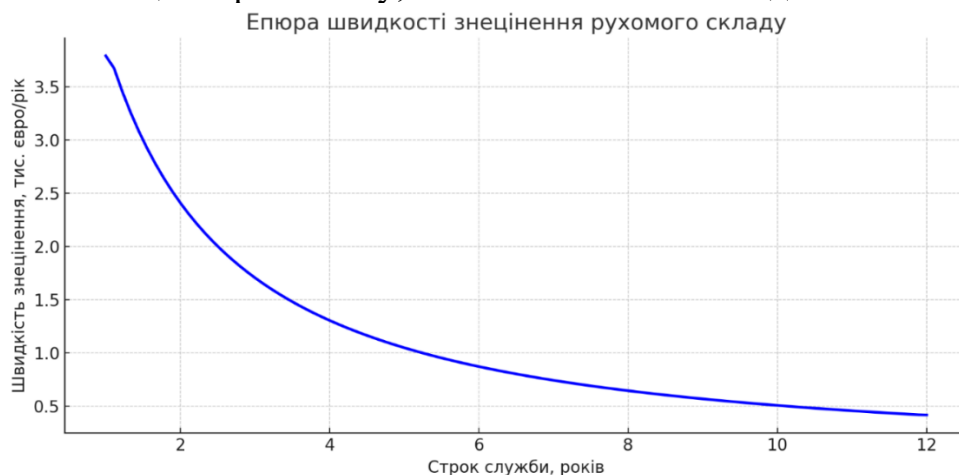


Рис. 1. Залежність ціни вантажних автомобілів від терміну їх служби (за середньостатистичними даними власних досліджень – MAN, DAF і Scania)

Відповідальність вибору через високі ціни на вантажівки досить велика. Один із шляхів розв'язання цієї проблеми – розробка критерію ефективності вибору транспорту з метою унеможливлення свідомо незадовільних варіантів і звуження сфери пошуку найкращих рішень.

В якості критерію ефективності МАП використовуваних для їх здійснення РС можна обрати прибуток. За інших рівних умов очевидно, що чим вищий загальний пробіг, тим більший прибуток.

При виборі рухомого складу для МАП необхідно керуватися перш за все кількома критеріями, що дозволяє оптимально оцінити роботу транспорту при конкретних умовах експлуатації.

### **Література**

1. Zagurskiy O.M. Food supply transport and logistics system organizations : Machinery & Energetics // O.M. Zagurskiy & T. S. Zhurakovska. 2021, v. 12(4), – P. 53-59.

2. Бондарев С. І. Управління якістю автомобільних перевезень : навчальний посібник /С. І. Бондарев , К.: Компрінт, 2019 - 512 с.

3. Бондарев С. І. Логістичні аспекти управління автотранспортом при міжнародних автоперевезеннях : Збірник тез доповідей. II Міжнародна науково-практична конференція «Автомобільний транспорт та інфраструктура» / С. І. Бондарев. 2019. – С. 63-66.

4. Міжнародні перевезення : теорія та практика : навч. посібник : у 2 кн. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова / А. С. Галкін, В. П. Левада, Ю. А. Давідіч, Н. В. Давідіч, К. Є. Вакуленко. Кн. 1. – 2018. – 182 с.

5. Бондарев С.І. Організація транспортного забезпечення сільських територій: навчальний посібник. / С.І. Бондарев – К: Компрінт, 2020. 176 с.

6. Організація міжнародних автомобільних перевезень вантажів : навч. посібник / Н.В. Пономарьова, Т.В. Волкова, Н.М. Пономарьова та ін.; під ред. Н.В. Пономарьова. – Х.:ХНАДУ, 2014. – 180 с.

УДК 656.073.235:330.131.5(477)

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ НА ЕТАПАХ « ПЕРШОЇ ТА ОСТАННЬОЇ МИЛІ»**

**Колісник А.В.**, к.т.н., доцент,

**Панченко В.С.** магістрант,

**Шпек Т.В.**, аспірант

**Алієв І.Е.** аспірант

*Український державний університет залізничного транспорту( м. Харків)*

e-mail:kolisnuk@kart.edu.ua

Однією з ключових умов ефективного функціонування інтермодальних перевезень є забезпечення узгодженої взаємодії різних видів транспорту,

зокрема залізничного та автомобільного. Особливе значення така взаємодія має на етапах «першої» та «останньої милі», які забезпечують доставку контейнерів від вантажовідправника до термінальної станції та від станції призначення до кінцевого споживача відповідно.

Згідно зі статистичними оцінками міжнародних транспортних організацій, частка автомобільного транспорту у забезпеченні першої та останньої милі в інтермодальних перевезеннях становить понад 70–80 %. Це пояснюється його високою маневреністю, доступністю та здатністю забезпечувати доставку «від дверей до дверей». Водночас залізничний транспорт забезпечує основну частину перевезень на середніх і великих відстанях, де його використання є економічно доцільним завдяки нижчим питомим витратам та високій провізній спроможності. За наявними аналітичними даними, ефективність інтермодальних перевезень значною мірою залежить від часу обробки контейнерів на стикових пунктах — термінальних станціях. У середньому витрати часу на операції першої та останньої милі можуть становити до 30–40 % загального часу доставки вантажу. При цьому нерівномірність надходження автомобільного транспорту до терміналів призводить до утворення черг, збільшення простоїв та зниження загальної продуктивності транспортної системи.

Важливою особливістю взаємодії автомобільного та залізничного транспорту є різна природа формування вантажопотоків. Автомобільні перевезення, як правило, мають більш дрібнодисперсний характер — контейнери надходять невеликими партіями у випадкові моменти часу. Натомість залізничний транспорт орієнтований на формування укрупнених партій (контейнерних поїздів), що потребує накопичення достатнього обсягу вантажу на термінальних станціях. Це створює необхідність узгодження двох різних за своєю природою процесів — стохастичного надходження контейнерів та детермінованого (за розкладом) відправлення поїздів.

Статистичний аналіз показує, що інтервали надходження автомобілів з контейнерами до терміналів можуть описуватися експоненційним або близьким до нього розподілом, що свідчить про випадковий характер процесу. При цьому інтенсивність надходження може суттєво змінюватися протягом доби, досягаючи пікових значень у певні часові періоди (наприклад, у денні години). Такі коливання потребують врахування при плануванні роботи терміналів та організації взаємодії з залізничним транспортом.

З метою підвищення ефективності взаємодії між видами транспорту застосовуються різноманітні організаційно-технологічні рішення. До них належать: впровадження систем попереднього бронювання часу прибуття автомобілів до терміналу; оптимізація графіків руху контейнерних поїздів з урахуванням прогнозованих обсягів надходження; використання інформаційних систем для координації дій усіх учасників перевізного процесу; розвиток сухих портів і логістичних хабів, що дозволяють перерозподіляти потоки.

Особливу роль відіграє цифровізація транспортних процесів. Використання сучасних інформаційних систем дозволяє здійснювати збір і аналіз статистичних даних у реальному часі, що створює передумови для більш точного прогнозування надходження контейнерів та адаптивного управління

транспортними потоками. Це, у свою чергу, дозволяє зменшити простої рухомого складу, скоротити час обробки вантажів і підвищити рівень сервісу [1].

З урахуванням викладеного можна зробити висновок, що ефективна взаємодія залізничного та автомобільного транспорту на етапах першої та останньої милі є критично важливою для забезпечення конкурентоспроможності інтермодальних перевезень. Подальше вдосконалення транспортних технологій у цьому напрямі має базуватися на використанні статистичних методів аналізу, стохастичного моделювання та сучасних цифрових рішень, що дозволяють враховувати динамічний характер транспортних процесів і приймати обґрунтовані управлінські рішення.

### **Література**

1. Оборот вантажного вагона – приблизно 280 годин: УЗ шукає шляхи пришвидшення. URL: [https://www.railinsider.com.ua/oborot-vantazhnogo-vagona-pryblzno-280-godyn-uz-shukaye-shlyahypryshvydshennya/?fbclid=IwY2xjaw-RAM7ZleHRuA2FlbQIxMABicmlkETFycVVzM3Z2aTBxdVVoSINic3J0YwZhcnBfaWQQMjIyMDM5MTc4ODIwMDg5MgABHhQwZcfq6Uis6tSHmbnmRxn\\_aJriwtFd9Yi0ekyQpw4ERycMPCn3w3ad5Do\\_aem\\_Oj1K5o\\_AZNg73xaSeY1VmQ](https://www.railinsider.com.ua/oborot-vantazhnogo-vagona-pryblzno-280-godyn-uz-shukaye-shlyahypryshvydshennya/?fbclid=IwY2xjaw-RAM7ZleHRuA2FlbQIxMABicmlkETFycVVzM3Z2aTBxdVVoSINic3J0YwZhcnBfaWQQMjIyMDM5MTc4ODIwMDg5MgABHhQwZcfq6Uis6tSHmbnmRxn_aJriwtFd9Yi0ekyQpw4ERycMPCn3w3ad5Do_aem_Oj1K5o_AZNg73xaSeY1VmQ)

УДК 631.3:631.353

## **ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСПОРТУЮЧИХ ВІЗКІВ-ПІДБИРАЧІВ ПРИ ЗАГОТІВЛІ СІНА В РОЗСИПНОМУ ВИГЛЯДІ**

**Кузьменко Володимир Федорович**, к.т.н., ст. науков. співр.,  
проф. науков. співробітник,

*Інститут механіки та автоматики НААН*

**Онищенко Володимир Борисович**, к.т.н., доцент,

*Національний університет біоресурсів та природокористування України*

**Холодюк Олександр Володимирович** к.т.н., доцент, завідувач кафедри,

*Вінницький національний аграрний університет*

**Постановка проблеми.** Міцна кормова база – основа розвитку високопродуктивного тваринництва. Заготівля традиційних видів кормів (сіно, сінаж) проводиться з використанням механізованих технологічних процесів з використанням рулонних та великопакових підбирачів. Поряд з перевагами таких технологічних процесів слід вказати і на їх недоліки, а саме - потреба у шпагаті чи в'язальній сітці для збереження форми рулонів-тюків, необхідність в ручній праці для здіймання сітки, шпагату, затримка з приготуванням сумішей при подачі рулонів до змішувача – роздавача. Одним із варіантів розв'язання згаданих недоліків є використання у технологічному процесі заготівлі сіна візків-підбирачів-транспортувальників (ВПТ). Використовуючи їх можлива заготівля сіна в розсіпному, різаному вигляді.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В науково-технічній літературі висвітлюються різні аспекти технологічних процесів та способів використання технічних засобів заготівлі листостеблових кормів. Більшість публікацій присвячена аналізу існуючих технологічних процесів [1-4], розробленню нових,

інноваційних [5], їх моделюванню, втратам поживних речовин [6, 7], а також розробці, порівнянню та впровадженню нових способів використання технічних засобів [8, 9].

*Мета досліджень.* Метою роботи є висвітлення переваг та дослідження ефективності роботи ВПТ при заготівлі сіна в розсипному, різаному вигляді.

*Результати досліджень.* Господарства України, що займаються молочним скотарством, розпочинають широко використовувати транспортуючі візки-підбирачі-подрібнювачі. Це універсальні машини, які підбирають сировину з валків (вологу, прив'ялену чи висушену), за потреби ріжуть її, нагромаджують у кузові з підпресовуванням та транспортують до місця складування або згодовування. Листостеблова маса подається до кузова знизу методом проштовхування зі швидкістю в 4-6 разів меншою у порівнянні із кормозбиральним комбайном. Завдяки цьому втрати легких фракцій врожаю (листя і суцвіть) є мінімальними. Машини застосовуються для підбирання валків сіна, пров'яленої трави, соломи, а також для транспортування подрібненої кормозбиральним комбайном кукурудзи для приготування силосу [10].

Візки-підбирачі-транспортувальники виготовляють відомі зарубіжні компанії. Основним показником, що характеризує візок-підбирач, поряд із показниками різального апарату, є об'єм його кузова. В залежності від об'єму змінюється і маса візка-підбирача, а відповідно і потужність трактора, з яким він агрегується. Тому, ряд компаній виготовляють їх різними типорозмірними рядами із широким діапазоном місткості кузова – від 11,5 м<sup>3</sup> до 57 м<sup>3</sup> [10].

В якості різального апарату використовується бітерно-ножовий апарат [11]. Завдяки криволінійній формі ножа, ступінчастою їх розстановкою апарат характеризується рівномірним навантаженням на вал бітера. Сучасні апарати завдяки встановленню з кроком 30 мм забезпечують мінімальну довжину різання в 40-50 мм. Існуючі транспортні засоби розвантажуються шляхом нахилання кузова (гравітаційний спосіб), виштовхування вантажу та з використанням днищевого транспортера. Завдяки використанню останнього способу вивантаження сучасні ВПТ доуцільнюють масу в кузові. На відміну від ущільнення вповдовж кузова [12] ущільнення у візку відбувається у вертикальному напрямку, завдяки примусовій подачі ротором. Потім цей ущільнений об'єм витягується з передньої частини кузова днищевим транспортером, чому сприяє рухомий передній борт. При розвантаженні сипкої сировини завдяки днищевому транспортеру остання може бути розподілена на декілька місць.

Оскільки ВПТ не лише підбирають та ущільнюють сировину в кузові, а і транспортують до місця зберігання використання загальноживаної залежності для визначення експлуатаційної продуктивності  $We$  потребує уточнень [10]

$$We = 0,1 V_p \times V_p \times T_{ек} \times \tau, \text{ га/год} \quad (1)$$

де  $V_p$  – робоча ширина захвату агрегату, м;  $V_p$  – робоча швидкість руху агрегату, км/год;  $T_{ек}$  – експлуатаційний час виконання операцій, год;  $\tau$  – коефіцієнт використання часу зміни.

По-перше: робоча ширина захвату агрегату  $V_p$  визначається не конструкційною шириною підбирача, а шириною поля з якої граблями

сформовано валок. По-друге: робоча швидкість  $V_p$  агрегату та експлуатаційний час виконання операцій  $T_{ек}$  на підбиранні валків та транспортуванні зібраної маси сіна мають різну величину і розраховуються у відповідності до кожної операції окремо, а потім додаються для кожного циклу наповнення та перевезення сировини.

Зрозуміло, що в цій залежності такі параметри, як місткість кузова, швидкість руху, відстань між валками, швидкість підбирання та перевезення сприятимуть підвищенню продуктивності, а відстань перевезення сіна, час розвантаження кузова – зменшуватимуть продуктивність.

**Висновок.** Визначено особливості роботи візків-підбирачів-транспортувальників (ВПТ) та їх придатність для заготівлі розсипного різаного сіна.

Встановлено, що експлуатаційну продуктивність ВПТ формують два типу чинників частина яких з їх збільшенням сприяє збільшенню продуктивності, тоді як збільшення інших – зменшує продуктивність.

### **Література**

1. Петриченко В.Ф., Корнійчук О.В. Стратегії інноваційного розвитку кормовиробництва України в умовах сучасних викликів. Вісник аграрної науки. 2018. № 96 (1). С. 11-17.
2. Кушнір В.П., Руткевич В.С. Прогресивні технології заготівлі стеблових культур. International scientific journal «Grail of Science». 2022. № 18-19. С. 140-142.
3. Подлесний М., Гайденко О. Заготівля, зберігання та використання кормів. Агробізнес сьогодні. 2021. № 2. С. 72-78.
4. Кузьменко В.Ф., Холодюк О.В. Продуктивні технології заготівлі сіна Всеукраїнський аграрний журнал. АгроЕліта. 2017. № 5(52). С. 71-73.
5. Виробництво, заготівля та безпека кормів: монографія; за наук. ред. акад. НААН В. Ф. Петриченка, члена-кореспондента НААН О. В. Корнійчука. Київ: Аграрна наука, 2023. 288 с.
6. Сінаж з люцерни: дешево та якісно. Agroexpert. 2011. № 1(30). С. 60-61.
7. Прес-підбирач: руйнування стереотипів досвідом. Пропозиція. 2012. № 4(202). С. 136-137.
8. Кузьменко В.Ф., Максименко В.В., Холодюк О.В. Розвиток засобів механізації кормовиробництва. Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний зб. 2020. № 12(111). С. 91-101.
9. Мохначов В. Боротьба систем: причіп-підбирач чи сучасний силосний комбайн? Пропозиція. 2013. № 4(14). С. 156-157.
10. Холодюк О. В., Твердохліб І. В., Кузьменко В. Ф. Особливості конструкцій сучасних візків-підбирачів та ефективність їх роботи при заготівлі стеблових кормів для виробництва високопоживної білково-вітамінної пасти та жому. Техніка, енергетика, транспорт АПК. № 4 ( 123 ) / 2023, с. 106 – 119. DOI: 10.37128/2520-6168-2023-4-12
11. V. Kuzmenko, O. Kholodyuk, B. Kotov, V. Bratishko. Beater-knife cutting devices of forage harvesting machines and ways for their improvement 23rd International Scientific Conference Engineering for Rural Development, 22-24.05.2024 Jelgava, LATVIA, p. 732 – 738. DOI: 10.22616/ERDev.2024.23.TF138

12. Патент на винахід №124928, Україна, МПК(2021.01), кл.7 В62D 63/08, А01F 15/18; В60Р 1/36; В60Р 1/48; А01F 85/00. Причеп з механізмом ущільнення сіно-соломистих вантажів. Кузьменко В.Ф., Максименко В.В., Кузьмич А.Я., Воронович В.А., Холодюк О.В., Мілько Д.О. (Україна), № а201907484, заявл. 04.07.2019, опубл. 22.12.2021, бюл. №51.

УДК 331.45 (075.8)

## **ОСНОВНІ НЕБЕЗПЕЧНІ ЧИННИКИ ТА ОЦІНКА РИЗИКІВ ДЛЯ ВОДІЇВ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ**

**Марчишина Є. І.**, к. с.г. н., доцент

**Зубок Т. О.** к. с.г. н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
marchyshyev@gmail.com

Оцінка ризиків для водіїв під час перевезення небезпечних вантажів є ключовим елементом забезпечення безпеки праці в транспортній галузі, оскільки цей вид діяльності пов'язаний із підвищеним рівнем техногенної, екологічної та професійної небезпеки. За даними міжнародних досліджень, близько 20–25% аварій за участю вантажного транспорту пов'язані саме з перевезенням небезпечних вантажів, що значно підвищує ймовірність тяжких наслідків, включаючи вибухи, пожежі та токсичні викиди. В Україні щорічно реєструється понад 3 тис. дорожньо-транспортних пригод за участю вантажних автомобілів, з яких до 8% припадає на транспорт, що перевозить небезпечні речовини, при цьому рівень травматизму водіїв у таких випадках на 30–40% вищий порівняно зі звичайними перевезеннями.

Основними небезпечними факторами для водіїв є фізичні, хімічні, психофізіологічні та організаційні ризики. До фізичних факторів належать підвищений рівень шуму (до 85–90 дБ), вібрації ( $0,8\text{--}1,2\text{ м/с}^2$ ) та тривале перебування у статичному положенні понад 8–10 годин на добу. Хімічні ризики виникають у разі витоку небезпечних речовин, таких як легкозаймисті рідини, стиснені гази або токсичні сполуки, концентрація яких у повітрі може перевищувати гранично допустимі норми у 5–10 разів при аварійних ситуаціях. Психофізіологічні фактори включають підвищений рівень стресу, який, за результатами досліджень, у водіїв небезпечних вантажів на 25% вищий, ніж у водіїв загального вантажного транспорту, а також втому, що знижує швидкість реакції на 15–20%.

Оцінка ризиків здійснюється шляхом ідентифікації небезпек, аналізу ймовірності їх виникнення та визначення тяжкості наслідків. Використання кількісних методів оцінювання дозволяє встановити інтегральний показник ризику, який у середньому для перевезень небезпечних вантажів становить 0,4–0,6 за шкалою від 0 до 1, що відповідає високому рівню небезпеки. Найбільш критичними етапами є завантаження і розвантаження (до 35% інцидентів), транспортування (близько 50%) та зупинки на маршруті (15%). Додатковим чинником ризику є технічний стан транспортних засобів: за статистикою, до 18% аварій спричинені

несправністю гальмівної системи або системи герметизації цистерн. Важливу роль відіграє людський фактор, який є причиною до 70% усіх інцидентів. Недостатній рівень підготовки водіїв, порушення режимів праці та відпочинку, а також ігнорування вимог безпеки призводять до суттєвого зростання ризиків. Наприклад, перевищення тривалості керування транспортним засобом понад 9 годин на добу підвищує ймовірність ДТП у 1,8 разів. Крім того, близько 12% водіїв не проходять регулярне навчання з безпечного поведіння з небезпечними вантажами, що негативно впливає на рівень їхньої готовності до аварійних ситуацій.

Для зниження ризиків необхідно впроваджувати комплексні заходи, що включають технічні, організаційні та індивідуальні рішення. Технічні заходи передбачають використання сучасних транспортних засобів, оснащених системами контролю стабільності, автоматичного гальмування та моніторингу стану водія, що дозволяє знизити аварійність на 20–25%. Організаційні заходи включають оптимізацію маршрутів, дотримання режимів праці та відпочинку, а також регулярний технічний контроль транспорту. Індивідуальні заходи передбачають використання засобів індивідуального захисту, проведення навчання та інструктажів, що дозволяє зменшити рівень травматизму на 15–20%.

Таким чином, оцінка ризиків для водіїв під час перевезення небезпечних вантажів є складним багатофакторним процесом, який потребує системного підходу та використання сучасних методів аналізу. Врахування статистичних даних, ідентифікація ключових небезпечних факторів та впровадження ефективних заходів управління ризиками дозволяють суттєво підвищити рівень безпеки та знизити ймовірність виникнення аварійних ситуацій. Перспективним напрямом подальших досліджень є впровадження цифрових технологій моніторингу ризиків у реальному часі, що може знизити рівень небезпеки ще на 10–15% та забезпечити більш ефективний контроль за умовами праці водіїв.

#### **Література:**

1. Войналович О.В., Марчишина Є. І., Кофто Д. Г. Охорона праці у галузі (автомобільний транспорт). К. Центр учбової літератури. 2018. 695 с.
2. Войналович О.В., Єременко О.І., Марчишина Є.І., Мотрич М.М., Зубок Т.О. Охорона праці в галузі. К.: НУБіП України. 2025. 251 с.
3. Войналович О., Войтюк В., Марчишина Є., Мотрич М., Хмельовський В. Охорона праці в агроінженерії: Навчальний посібник. Київ: НУБіП України. 2025. 518 с.

УДК 656.076:34(4+477)

### **НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТУПНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ У ЄС ТА ЙОГО АДАПТАЦІЯ В УКРАЇНІ**

**Опалко Вікторія Григорівна**, к.т.н., доцент,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: opalko@nubip.edu.ua

Забезпечення доступності транспорту для осіб з інвалідністю та осіб з обмеженою мобільністю поступово трансформується у ключовий напрям

сучасної транспортної політики, який безпосередньо пов'язаний із реалізацією принципів соціальної справедливості, рівності можливостей і сталого розвитку. У країнах Європейського Союзу ця проблематика розглядається не як окремий соціальний аспект, а як невід'ємна характеристика ефективної транспортної системи. Саме тому в ЄС сформовано комплексну нормативну базу, що охоплює правові, організаційні та інформаційні складові функціонування транспорту і спрямована на інтеграцію маломобільних груп населення у всі види мобільності.

Особливої актуальності зазначене питання набуває в умовах сучасних викликів для України. Унаслідок воєнних дій суттєво зросла кількість осіб з інвалідністю, причому значну частину становлять люди молодого віку, які прагнуть активної участі в суспільному житті. За таких умов доступність транспорту виходить за межі суто інфраструктурного завдання і перетворюється на важливий фактор соціальної інтеграції, забезпечення доступу до освіти, працевлаштування та відновлення людського потенціалу. Формування безбар'єрного транспортного середовища стає, таким чином, одним із стратегічних напрямів післявоєнного розвитку держави.

Важливим підґрунтям для формування сучасного розуміння доступності є міжнародні документи, насамперед Конвенція ООН про права осіб з інвалідністю [1, 2], яка закріплює право осіб з інвалідністю на незалежне життя та повну участь у суспільстві, включаючи доступ до транспорту, інфраструктури та інформації. Саме положення цієї Конвенції визначили необхідність переходу від підходу «адаптації середовища» до створення систем, спочатку орієнтованих на різноманітність користувачів.

У науковому та нормативному дискурсі доступність транспорту доцільно трактувати як інтегральну характеристику транспортної системи, що відображає її здатність забезпечувати можливість користування транспортними послугами для всіх категорій населення незалежно від фізичних, сенсорних чи когнітивних обмежень. Йдеться не лише про фізичний доступ до транспортних засобів, а й про можливість отримання інформації, придбання квитків, безпечної посадки та висадки, здійснення поїздки й орієнтації в транспортному середовищі. Таким чином, доступність виступає системною властивістю, що визначає рівень інклюзивності та ефективності функціонування транспортної системи.

Нормативно-правове регулювання доступності транспорту в Європейському Союзі має чітко виражений багаторівневий характер. На загальному рівні визначальне значення мають Директива (ЄС) 2019/882 [3], відома як Європейський акт про доступність, яка встановлює вимоги до продуктів і послуг, зокрема транспортних сервісів і цифрових платформ, а також Директива (ЄС) 2016/2102 [4], що регламентує доступність вебсайтів і мобільних застосунків органів публічного сектору. У цих документах закладено принципи універсального дизайну та недискримінації, які поширюються і на транспортну сферу.

На галузевому рівні ключову роль відіграють регламенти, що визначають права пасажирів у різних видах транспорту. Регламент (ЄС) № 1107/2006 [5] регулює питання доступності авіаперевезень, Регламент (ЄС) № 181/2011 [6] встановлює права пасажирів автобусного транспорту, Регламент (ЄС) №

1177/2010 [7] – морського та внутрішнього водного транспорту, а Регламент (ЄС) 2021/782 [8] – залізничних перевезень. Їх спільною рисою є закріплення принципу недискримінації, обов'язковості надання допомоги пасажиром з обмеженою мобільністю та забезпечення доступності інформації на всіх етапах подорожі.

Узагальнення зазначених нормативних положень дає підстави стверджувати, що в ЄС сформовано цілісний підхід до забезпечення доступності транспорту, який базується на інтеграції правових, технічних і організаційних механізмів. При цьому доступність розглядається не як додаткова характеристика, а як один із ключових критеріїв якості транспортних послуг.

В Україні вже закладено певні передумови для формування безбар'єрного середовища, зокрема через ратифікацію Конвенції ООН про права осіб з інвалідністю та реалізацію Національної стратегії зі створення безбар'єрного простору до 2030 року. Водночас чинна нормативна база має фрагментарний характер і потребує подальшого розвитку з урахуванням системного підходу, притаманного Європейському Союзу. У цьому контексті перспективи використання європейського досвіду пов'язані передусім із гармонізацією законодавства, впровадженням принципів доступності у транспортну політику, а також розвитком цифрових і організаційних інструментів забезпечення мобільності. Особливого значення набуває інтеграція вимог доступності у процеси планування транспортних систем і надання транспортних послуг.

Отже, досвід Європейського Союзу, сформований на основі міжнародних стандартів і принципів інклюзивності, може бути ефективно використаний в Україні для створення сучасної транспортної системи, яка забезпечує рівний доступ до мобільності та сприяє повноцінній участі всіх категорій населення у суспільному житті.

### **Література**

1. Convention on the Rights of Persons with Disabilities (CRPD). URL: <https://social.desa.un.org/issues/disability/crpd/convention-on-the-rights-of-persons-with-disabilities-crpd>
2. Конвенція про права осіб з інвалідністю. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_g71#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_g71#Text)
3. Directive (EU) 2019/882 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019 on the accessibility requirements for products and services. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/882/oj/eng>
4. Directive (EU) 2016/2102 of the European Parliament and of the Council of 26 October 2016 on the accessibility of the websites and mobile applications of public sector bodies. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2016/2102/oj/eng>
5. Regulation (EC) No 1107/2006 of the European Parliament and of the Council of 5 July 2006 concerning the rights of disabled persons and persons with reduced mobility when travelling by air. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2006/1107>
6. Regulation (EU) No 181/2011 of the European Parliament and of the Council of 16 February 2011 concerning the rights of passengers in bus and coach transport. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32011R0181>

7. Regulation (EU) No 1177/2010 of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 concerning the rights of passengers when travelling by sea and inland waterway. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2010/1177/oj/eng>

8. Regulation (EU) 2021/782 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2021 on rail passengers' rights and obligations. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/782>

УДК 656.078

## ВИЗНАЧЕННЯ ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ ЩОДО ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСТАВКИ МЕБЛЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ З УКРАЇНИ ДО ПОЛЬЩІ

**Павленко Олексій Вікторович**, к.т.н., доцент

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

e-mail: [tpov@ukr.net](mailto:tpov@ukr.net)

Сучасний етап розвитку міжнародних перевезень різних видів вантажів характеризується значними структурними змінами в логістичних ланцюгах, значним зростанням ролі транспортних коридорів в регіонах та підвищенням вимог до ефективної організації технологій постачання продукції [1, 2]. Ці процеси мають особливе значення в сфері українського експорту товарів до країн Європейського Союзу, зокрема до Республіки Польща. Ця країна є одним з ключових торговельних партнерів України. Експорт товарів з України до Польщі за вартістю в 2024 році зменшився майже на 26 % (рис. 1) [3], імпорт зменшився майже на 25 %. При цьому імпорт товарів перевищує експорт в 2023 році на 23 %, а в 2024 році на 34 %.

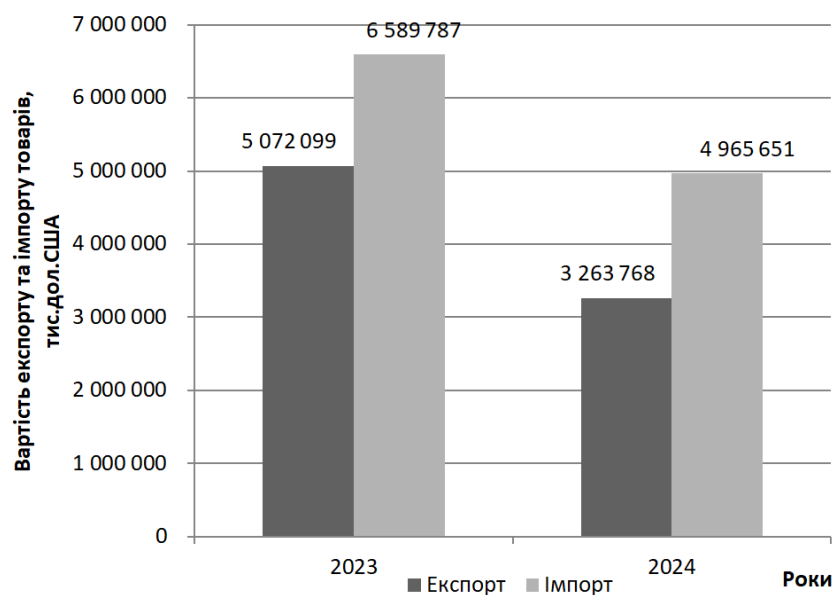


Рис. 1. Вартість експорту та імпорту товарів між Україною та Польщею в 2023-2024 роках

Меблева продукція займає важливе місце в цій системі, оскільки

характеризується стабільним попитом, значними обсягами експорту та специфічними вимогами до умов доставки. Меблева продукція, яка виробляється в Україні експортується в Польщу в значних обсягах, підтримуючі загальну тенденцію експорту до країн Європейського Союзу. Так експорт перевищує імпорт в 2024 році майже в 5 раз (рис. 2) [3]. Хоча в 2023 році перевищення було майже в 6,5 разів. Експорт меблів в Польщу в 2024 році зменшився у порівнянні з 2023 роком на 32 %. Імпорт також зменшився на 9 % рік до року відповідно.

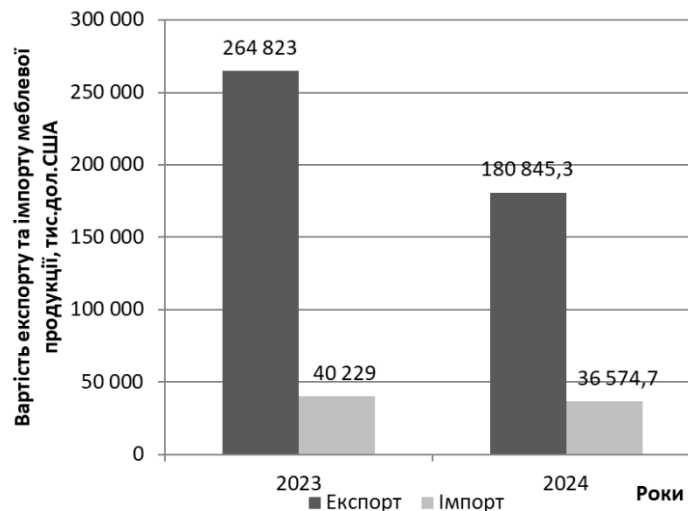


Рис. 2. Вартість експорту та імпорту меблевої продукції між Україною та Польщею в 2023-2024 роках

Меблевим компаніям та транспортним підприємствам часто приходится приймати рішення щодо вибору ефективного варіанту технології доставки, спираючись на досвід або окремі економічні показники, без системного аналізу всього комплексу факторів, що впливають на це. Такі дії призводять до нераціонального використання транспортних ресурсів, збільшення транспортних витрат, збільшення термінів доставки та ризиків пошкодження продукції. В умовах високої конкуренції на європейському ринку такі недоліки безпосередньо впливають на конкурентоспроможність українських виробників меблів та операторів транспортних послуг. Вирішення проблеми полягає у можливості використання розробленої моделі транспортними компаніями, експортерами меблевої продукції та логістичними підрозділами виробничих підприємств для обґрунтування вибору варіанту технології доставки.

Наразі не існує універсальних підходів до моделювання процесу доставки меблевої продукції, які б дозволяли комплексно оцінити ефективність різних технологічних рішень з урахуванням транспортних, економічних, часових та організаційних параметрів [4, 5]. Розробка нових методичних рішень щодо визначення ефективного варіанту технології доставки дозволить не лише мінімізувати витрати на транспортування, а й оптимізувати структуру технологічних операцій, знизити рівень пошкоджень меблевої продукції та підвищити надійність постачання.

Для побудови ефективної технології доставки вантажів у міжнародному сполученні необхідно транспортним та логістичним компаніям створювати

надійні системи обслуговування замовлень [6], враховувати ризики на кожному кроці виконання технологічних операцій [7], будувати сталу логістику постачання, яка б враховувала існуючу транспортну інфраструктуру [8, 9].

Аналіз літературних джерел показує, що проблема визначення ефективних технологій доставки товарів у міжнародному сполученні, зокрема меблевої продукції, залишається актуальною в умовах трансформації логістичних ланцюгів та зростання вимог до економічної ефективності перевезень. Сучасні дослідження демонструють перехід до інтегрованих підходів до управління ланцюгами поставок, орієнтованих на попит і його параметри, що дозволить підвищити адаптивність логістичних систем. Існуючі методи не забезпечують комплексного врахування економічних, транспортних та ризикових факторів міжнародної доставки меблевої продукції. Це обґрунтовує доцільність розробки адаптованої моделі визначення ефективного варіанту технології доставки меблевої продукції з України до Польщі, орієнтованої на мінімізацію витрат, підвищення стабільності рішень та практичну реалізацію в умовах функціонування сучасних транспортно-логістичних систем.

### **Література**

1. Harish A. R., Liu X., Wang X., Pan S., Dai H.-N., Li M., Huang., G.Q. Blockchain For Logistics 4.0: A System-atic Review and Prospects. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2025. Vol. 201, P. 104269.
2. Raj R., Kumar V., Shah B. Big data analytics adaptive prospects in sustainable manufacturing supply chain. *Benchmarking: An International Journal*. 2023. Vol. 31 (9), P. 3373–3397.
3. Державна служба статистики [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 19.03.2026).
4. Taran I., Kairatkyzy G., Pavlenko O., Nefyodov V., Muzylyov D. Determining the optimal service area of a logistics center: a quantitative approach. *Transport Problems*. 2025. Vol. 20(3). P. 5–18.
5. Moyano-Londoño G.A., Cardona-Granada V., Alzate P. Logistics 4.0 and emerging technologies: A scien-tometric perspective on innovation in supply chains. *Journal of Digital Economy*. 2025. Vol. 4. P. 108–122.
6. Kalinichenko, O., Pavlenko, O., Medvediev, I., Turpak, S., Muzylyov, D. Updated Warehouse Logistics in Space-Constrained Environments Using Routing and Technical Solutions. In: Slavinska, O., Danchuk, V., Kunytska, O., Hulchak, O. (eds) *Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety, Quality, Comfort. ITSESQC 2024. Lecture Notes in Networks and Systems*, 2025. Vol 1336.
7. Muzylyov, D. Medvediev, I., Pavlenko, O. Risk factor assessment in agricultural supply chain by fuzzy logic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024. Vol. 1376 (1). P. 012038.
8. Cedillo-Campos M. G., Piña-Barcenas J., Pérez-González, C. M. Mora-Vargas J. How to measure and monitor the transportation infrastructure contribution to logistics value of supply chains? *Transport Policy*. 2022. Vol. 120. P. 120–129.
9. Yin J., Sun L. Digital logistics, supply chain finance, and supply chain efficiency. *Finance Research Letters*. 2025. Vol. 85(E). P. 108324.

УДК 656.073.7

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО І АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ПРИ ПРЯМОМУ ВАРІАНТІ ПЕРЕРОБКИ ВАНТАЖІВ**

**Продащук Світлана Миколаївна**, к. т. н., доцент,

**Кім Катерина Володимирівна**, к. псих. н., доцент,

**Продащук Микола Вікторович**, аспірант

*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

E-mail: [\\_sp7728@ukr.net](mailto:_sp7728@ukr.net)

У сучасних умовах воєнного стану та відновлення економіки України особливої актуальності набувають питання підвищення ефективності транспортно-логістичних процесів, зокрема організації роботи вантажних фронтів при взаємодії автомобільного та залізничного транспорту [1]. Важливу роль у цьому відіграє застосування прямого варіанту переробки вантажів, який передбачає безпосереднє перевантаження «вагон–автомобіль» без проміжного складування. Це дозволяє скоротити тривалість обробки вантажів, зменшити простой транспортних засобів і підвищити пропускну спроможність інфраструктури.

Аналіз сучасних наукових підходів показує, що існуючі моделі функціонування вантажних фронтів здебільшого не враховують стохастичний характер транспортних потоків, нерівномірність їх надходження, вплив пікових навантажень, а також обмежену надійність технічних засобів [2]. Крім того, недостатньо враховуються людський фактор, просторово-планувальні особливості вантажних фронтів, а також вплив зовнішніх умов – кліматичних, енергетичних і безпекових [3, 4]. Це призводить до зниження адекватності моделей і обмежує можливості їх практичного застосування.

У роботі формалізовано процес функціонування вантажного фронту як динамічної стохастичної системи масового обслуговування, в якій взаємодіють потоки автомобільного транспорту, вагонів та навантажувально-розвантажувальних машин. Запропоновано удосконалену математичну модель визначення раціональної технології роботи вантажного фронту при прямому варіанті переробки вантажів, яка враховує випадковий характер надходження транспортних засобів.

Особливістю моделі є комплексний підхід до оцінки ефективності, що передбачає врахування не лише експлуатаційних витрат, пов'язаних із простоями автомобілів, вагонів і навантажувально-розвантажувальних машин, але й інвестиційних витрат, амортизації обладнання, витрат простою вагонів, штрафних санкцій за порушення строків доставки, а також втрат від реалізації ризиків. Додатково враховано коефіцієнти технічної готовності обладнання, що відображають імовірність відмов, та коефіцієнти, які характеризують вплив людського фактора і організаційних втрат часу.

На оптимальність технології функціонування вантажного фронту впливають інтенсивність і нерівномірність надходження автомобільного

транспорту та вагонів, кількість і продуктивність навантажувально-розвантажувальних машин, рівень їх технічної надійності, параметри просторового розміщення вантажного фронту, рівень цифровізації процесів (електронний документообіг, автоматизовані системи управління), а також зовнішні фактори, що включають погодні умови, енергетичні обмеження та ризики функціонування в умовах нестабільного середовища.

У моделі також враховано синхронізацію транспортних потоків, що дозволяє мінімізувати дисбаланс між прибуттям автомобілів і вагонів, зменшити черги та підвищити рівень використання технічних ресурсів. Використання багатокритеріального підходу дає змогу оцінювати ефективність системи не лише за критерієм мінімізації витрат, але й з урахуванням часу обробки вантажів та рівня сервісу. Розроблена модель дозволяє порівнювати різні варіанти організації роботи вантажного фронту з урахуванням повного комплексу факторів – технологічних, економічних, організаційних і ризикових. За результатами моделювання встановлено, що найвищий рівень ефективності досягається за умови узгодження інтенсивностей транспортних потоків та забезпечення достатнього рівня технічної готовності обладнання.

Запропонована модель може бути використана для оптимізації параметрів роботи вантажних фронтів, прогнозування витрат і затримок в умовах невизначеності, обґрунтування рішень щодо модернізації інфраструктури та технічного оснащення, підвищення ефективності використання автомобільного транспорту; а також впровадження сучасних систем управління транспортно-логістичними процесами.

Раціональна технологія функціонування вантажного фронту досягається при комплексному врахуванні стохастичності процесів, технічної надійності, організаційних обмежень і зовнішніх факторів, що забезпечує суттєве зниження витрат і підвищення ефективності транспортно-логістичної системи в цілому.

### **Література**

1 Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-%D0%BF#Text>

2 Дослідження питання організації процесу обслуговування вантажопотоків на терміналі по прямому варіанту в інтегральних транспортних системах доставки вантажів. URL: <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/19395/1/%D0%9D%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B9.pdf>

3 Ломотько Д. В. Шляхи удосконалення технології взаємодії залізничного та автомобільного видів транспорту при перевезенні небезпечних вантажів / Д. В. Ломотько, А. І. Аболонін // Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: тези XVIII Міжнародної науково-практичної конференції, Дніпро, 12-13 грудня 2024 р. – Дніпро: УДУНТ, 2024. – С. 42.

4 Мороз М., Загорянський В., Гайкова Т., Кузев І. Використання методів дослідження операцій для оптимізації автомобільних перевезень масових вантажів в агропромисловому комплексі / Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Випуск 1 (11). – С. 44-50.

УДК 656.1

## **ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ СЕРВІСУ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УМОВАХ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИКИ**

**Птиця Наталія Василівна**, к.т.н., доцент,

e-mail: nataliya.ptitsa@gmail.com

**Хижняк Олег Євгенович**, здобувач бакалаврського рівня

e-mail: oleg90903@gmail.com

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

У сучасних умовах глобалізації економіки, розвитку електронної комерції та ускладнення ланцюгів постачання особливого значення набуває якість логістичних послуг, що надаються експедиційними компаніями. Саме експедитори виступають ключовою ланкою між вантажовідправниками, перевізниками та кінцевими споживачами, забезпечуючи координацію транспортних, інформаційних і сервісних потоків. З огляду на це, якість їхніх послуг безпосередньо впливає на ефективність функціонування логістичних систем, рівень задоволеності клієнтів і конкурентоспроможність підприємств у цілому.

Аналіз сучасних наукових досліджень свідчить про відсутність єдиного загально визнаного підходу до визначення та вимірювання якості логістичних послуг. Водночас більшість дослідників сходяться на думці, що логістична якість сервісу (LSQ) є багатовимірною категорією, яка включає як операційні, так і клієнтоорієнтовані характеристики. В умовах діяльності експедиційних компаній це означає необхідність комплексного підходу до управління якістю, що охоплює всі етапи логістичного процесу – від прийняття замовлення до доставки вантажу та післяпродажного обслуговування [1].

Однією з ключових тенденцій розвитку логістичного сервісу є зміщення акценту від суто операційних параметрів (швидкість доставки, точність виконання замовлень) до більш складних характеристик, пов'язаних із взаємодією з клієнтами. Якщо раніше якість визначалась переважно фізичними показниками транспортування, то нині вона дедалі більше залежить від рівня комунікації, гнучкості та індивідуалізації послуг. Це особливо актуально для експедиційних компаній, які працюють у B2B- та B2C-сегментах, де очікування клієнтів постійно зростають [2].

Узагальнення наукових підходів дозволяє виділити кілька базових вимірів якості логістичних послуг експедиційних компаній. Першим і одним із найважливіших є якість виконання замовлення. Вона включає точність, повноту та надійність доставки, відсутність пошкоджень вантажу, дотримання умов транспортування. Саме цей аспект формує базову довіру клієнтів до експедитора і є критичним для довгострокової співпраці.

Другим важливим виміром є своєчасність надання послуг. Вона охоплює такі параметри, як тривалість логістичного циклу, дотримання термінів доставки, оперативність обробки замовлень. У сучасних умовах, коли швидкість є одним

із ключових конкурентних факторів, навіть незначні затримки можуть призвести до втрати клієнтів і фінансових збитків.

Третій вимір (інформаційна якість) набуває дедалі більшого значення в умовах цифровізації логістики. Експедиційні компанії повинні забезпечувати клієнтів повною, достовірною та своєчасною інформацією про статус вантажу, можливість відстеження перевезення в режимі реального часу, а також ефективну комунікацію на всіх етапах взаємодії. Використання сучасних інформаційних систем, таких як TMS, CRM та електронний документообіг, стає невід'ємною складовою якісного сервісу [1–3].

Четвертий аспект – клієнтоорієнтованість, він відображає здатність експедиційної компанії враховувати індивідуальні потреби замовників, швидко реагувати на їх запити та забезпечувати високий рівень сервісної підтримки. Дослідження показують, що саме цей вимір є одним із найбільш значущих для формування лояльності клієнтів. У практичній діяльності це проявляється у гнучкості тарифної політики, персоналізації послуг, оперативному вирішенні проблемних ситуацій.

П'ятим важливим компонентом є імідж компанії та її соціальна відповідальність. У сучасних умовах клієнти дедалі більше звертають увагу не лише на вартість і швидкість послуг, а й на репутацію експедитора, його екологічну політику, дотримання етичних норм та стандартів безпеки. Це особливо актуально в контексті розвитку «зеленої логістики» та сталого розвитку.

Слід також зазначити, що якість логістичних послуг має безпосередній вплив на ключові економічні показники діяльності експедиційних компаній. Високий рівень сервісу сприяє підвищенню задоволеності клієнтів, формуванню їх лояльності та, як наслідок, збільшенню обсягів замовлень. Натомість низька якість може призвести до втрати клієнтів, зниження доходів і погіршення ринкових позицій.

Особливістю діяльності експедиційних компаній є те, що вони часто виступають інтеграторами послуг різних учасників логістичного процесу. Це ускладнює управління якістю, оскільки кінцевий результат залежить не лише від самого експедитора, а й від перевізників, складських операторів, митних органів тощо. У зв'язку з цим важливим завданням є забезпечення координації та контролю якості на всіх етапах логістичного ланцюга.

Сучасні підходи до управління якістю логістичних послуг передбачають використання різних методів і моделей оцінювання. Найбільш поширеними є адаптації моделі SERVQUAL, а також спеціалізовані шкали LSQ, які враховують специфіку логістичної діяльності. Водночас дослідники зазначають, що універсальної моделі оцінювання якості логістичних послуг наразі не існує, що зумовлює необхідність подальших наукових розробок у цьому напрямі.

У практичній діяльності експедиційних компаній важливим інструментом підвищення якості є впровадження систем управління якістю відповідно до міжнародних стандартів (наприклад, ISO 9001), а також використання ключових показників ефективності (KPI) [2–5].

До таких показників можуть належати рівень своєчасності доставки, частка виконаних замовлень без помилок, рівень задоволеності клієнтів, швидкість обробки запитів тощо.

Крім того, важливу роль відіграє цифрова трансформація логістики. Використання технологій штучного інтелекту та великих даних дозволяє підвищити прозорість логістичних процесів, оптимізувати маршрути, зменшити витрати та покращити якість обслуговування. Для експедиційних компаній це означає можливість переходу від традиційних моделей роботи до інтелектуальних логістичних систем.

В Україні питання якості логістичних послуг набуває особливої актуальності у зв'язку з воєнними викликами, переboями в транспортній інфраструктурі та необхідністю забезпечення стійкості ланцюгів постачання. Експедиційні компанії змушені працювати в умовах підвищеної невизначеності, що потребує від них високого рівня гнучкості, адаптивності та професіоналізму. У такій ситуації якість логістичного сервісу стає не лише фактором конкурентоспроможності, а й елементом національної економічної безпеки.

Отже, якість надання логістичних послуг експедиційними компаніями є складною багатокомпонентною категорією, що охоплює операційні, інформаційні та клієнтоорієнтовані аспекти діяльності. Її забезпечення вимагає системного підходу, інтеграції сучасних технологій та орієнтації на потреби клієнтів.

Подальші дослідження у цій сфері повинні бути спрямовані на розробку універсальних моделей оцінювання якості, адаптованих до специфіки різних ринків і видів логістичних послуг, а також на впровадження інноваційних інструментів управління логістичним сервісом.

### Література

1. Логістика та управління перевезеннями. URL: <https://pr-logist.com.ua/logistyka-ta-upravlinnya-perevezennyamy/> (дата звернення 10.12.2025).
2. Птиця Н.В. An approach to assessing the quality of transport service in road logistics. *Автомобільний транспорт*, 2025, (57), 60–65. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2025.57.0.08>
3. Arabelen, G., Kaya, H.T. Assessment of logistics service quality dimensions: a qualitative approach. *J. shipp. trd.* 2021, 6, 14. <https://doi.org/10.1186/s41072-021-00095-1>.
4. Папахов О.Ю., Логвінова Н.О., Гудімов В.В., Максименков Є.А. Аутсорсинг транспортно-експедиційних компаній для виконання запланованих обсягів перевезень. *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. Вип. 24.* 2022. С. 53–57.
5. Павловський М.В., Корюгін А.В. Управління якістю транспортно-логістичних процесів підприємства. *Цифрова економіка та економічна безпека.* 2023. 6 (06). С. 41-45.

УДК 636.083.37:629.3

## **СУЧАСНІ АВТОМОБІЛЬНІ ЗАСОБИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ТВАРИН: ТЕХНІЧНИЙ СТАН, ВИМОГИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

**Ребенко Віктор Іванович**, к.т.н., доцент,  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*  
Email: rebenko@nubip.edu.ua

Транспортування сільськогосподарських тварин є невід'ємною складовою сучасного агропромислового комплексу. Якість перевезення безпосередньо впливає на продуктивність, здоров'я та економічну цінність поголів'я. За статистикою ФАО, щорічно у світі перевозиться понад 1 млрд голів великої рогатої худоби, свиней, овець та птиці.

Значна частина економічних втрат галузі – до 2,3% вартості вантажу – припадає саме на транспортний стрес, травматизм та загибель тварин у дорозі. Тривалість перевезення, параметри мікроклімату, конструктивні особливості транспортного засобу та кваліфікація водія визначають кінцеву якість вантажу. Відповідно до законодавства Євросоюзу (Регламент ЄС № 1/2005), максимально допустимий час безперервного перевезення становить 8 годин, а для спеціально обладнаного транспорту – до 48 годин.

Сучасний парк спеціалізованого транспорту для перевезення тварин охоплює декілька основних груп: повнорозмірні автопоїзди (сідловий тягач + напівпричіп); одиночні вантажні автомобілі з кузовом-скотовозом; автопричепи різної вантажопідйомності; ізотермічні фургони для птиці. Провідні виробники – Kassbohrer (Туреччина/Німеччина), Pezzaioli (Італія), Joskin (Бельгія), Barrett Trailers (США), Krismar (Нідерланди) – пропонують рішення, що відповідають регламентам ЄС № 1/2005 та Директиві 98/58/ЄС. Загальна вантажопідйомність сучасних напівпричепів для ВРХ становить 18–24 т при тарній масі 6–8 т. Двоярусні та триярусні конструкції для дрібної худоби і свиней дозволяють перевозити до 200 голів середньої маси в одному рейсі.

Згідно з чинними стандартами, кузова для транспортування тварин мають забезпечувати: мінімальну питому площу підлоги на одну голову; рівномірний повітрообмін із кратністю не менше 60–80 об/год при температурах вище +15°C; висоту внутрішнього простору, що виключає вимушене скорочення природної постави. Підлога кузова виконується з рифленого алюмінію або полімерних решіток з ухилом 2–3° для відведення рідини.

Критичним чинником збереження якості вантажу є підтримання оптимального мікроклімату в кузові. Сучасні напівпричепи комплектуються примусовою вентиляцією з регульованою подачею повітря, датчиками температури та вологості з виведенням показань у кабіну водія. Провідні виробники впроваджують системи телеметрії (GPS + GSM), що дозволяють диспетчеру в реальному часі відстежувати маршрут, стан мікроклімату та інцидентні навантаження.

Таблиця 1 – Зоотехнічні норми розміщення тварин під час транспортування

Категорія тварин	Мін. площа (м <sup>2</sup> /гол.)	Висота кузова, м	Ярусність	Нормативний документ
ВРХ (до 300 кг)	0,65–1,0	≥ 1,80	1	Регламент ЄС № 1/2005
Свині (100 кг)	0,42–0,60	≥ 1,10	2–3	Регламент ЄС № 1/2005
Вівці/кози	0,20–0,35	≥ 0,90	2–3	ДСТУ 2362-94
Коні	1,75–2,40	≥ 2,00	1	FEI Guidelines 2023
Птиця	0,02–0,04	≥ 0,30	6–8	Регламент ЄС № 1/2005

Технологія Air Ride (пневматична підвіска) знижує вертикальні вібраційні навантаження на тварин на 35–42% порівняно з листовою ресорою. Температурний діапазон оптимального мікроклімату становить: для ВРХ +5...+20°C, для свиней +15...+22°C, для птиці +18...+24°C. Система автоматичного управління заслінками вентиляції підтримує задані параметри без втручання водія.

Сучасні транспортні засоби обладнуються вбудованими апарелями з кутом нахилу не більше 20° (оптимум – 15–17°) та рифленою поверхнею. Ширина апарелі для ВРХ становить не менше 0,90 м, для свиней – 0,80 м. Перспективним напрямком є застосування підйимально-опускних платформ (ліфтів) для завантаження хворих або старих тварин, що унеможливорює додаткову травматизацію.

Окремий сегмент ринку – мобільні ветеринарні станції на базі причепів, що суміщають функції транспортування та первинного огляду. Автоматизовані ворота-розподільники забезпечують поодинокий рух тварин у завантажувальному коридорі, що суттєво зменшує рівень стресу та ризик травм.

Аналіз сучасного стану автомобільних засобів перевезення тварин свідчить про стійку тенденцію до інтеграції цифрових технологій моніторингу, застосування легких алюмінієвих сплавів, вдосконалення систем мікроклімату. Для України актуальним завданням є гармонізація вітчизняних стандартів із вимогами Регламенту ЄС № 1/2005, що набуває критичного значення в контексті євроінтеграції агропромислового комплексу.



Рис. 1 Конструкцій скотовозів

Розробка конструкцій скотовозів з урахуванням кліматичних і дорожніх умов є пріоритетним напрямком виробників. Перспективними є дослідження впровадження IoT-сенсорів для комплексного моніторингу стану тварин під час перевезення, а також розробка системи автоматичного протоколювання умов транспортування для ветеринарної звітності.

УДК 656.223.2.001.18

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**Рибальченко Лілія Ігорівна**, к.т.н., доцент,  
*Український державний університет залізничного транспорту*  
e-mail: rybalchenko@kart.edu.ua

Сучасний розвиток залізничного транспорту характеризується зростанням вимог до ефективності, надійності та гнучкості організації перевезень. У цих умовах особливого значення набуває вдосконалення транспортно-технологічних процесів, які формують основу функціонування системи залізничних перевезень. Від рівня їх організації залежить як якість транспортного обслуговування, так і економічні показники діяльності галузі.

Транспортно-технологічні процеси на залізничному транспорті охоплюють комплекс операцій, пов'язаних із плануванням, організацією та реалізацією перевезень. До ключових елементів належать формування поїздів, управління їх рухом, обробка вагонопотоків на станціях, а також координація взаємодії між різними підрозділами транспортної системи. Недосконалість хоча б одного з цих елементів призводить до зниження загальної ефективності перевізного процесу.

Одним із головних напрямів оптимізації є раціоналізація використання пропускної спроможності залізничної інфраструктури. Це передбачає удосконалення графіків руху поїздів з урахуванням нерівномірності вантажопотоків, сезонних коливань попиту та технічних обмежень. Практика показує, що застосування адаптивних графіків руху дозволяє скоротити простої рухомого складу та підвищити рівень використання локомотивів і вагонів.

Важливу роль у підвищенні ефективності перевезень відіграє оптимізація процесів на станціях, які виступають вузловими елементами транспортної системи. Зокрема, скорочення часу переробки вагонів досягається за рахунок удосконалення технології сортування, впровадження раціональних схем маневрової роботи та покращення взаємодії між службами. У цьому контексті доцільним є застосування методів імітаційного моделювання, що дозволяють оцінити різні варіанти організації роботи станцій без втручання у реальний процес. Особливу увагу слід приділити оптимізації управління вагонопотоками. Раціональний розподіл вагонів за напрямками перевезень, скорочення порожнього пробігу та зменшення часу обороту вагонів є важливими резервами підвищення ефективності. Використання аналітичних підходів до прогнозування попиту на перевезення сприяє більш точному плануванню та зниженню експлуатаційних витрат.

У сучасних умовах значного розвитку набуває інтеграція залізничного транспорту в логістичні ланцюги постачання. Це зумовлює необхідність узгодження транспортних технологій із вимогами суміжних видів транспорту та вантажовласників. Зокрема, поширення контейнерних перевезень сприяє уніфікації транспортних процесів, зменшенню часу обробки вантажів та

підвищенню рівня їх збереженості. Перспективним напрямом є також використання інструментів підтримки управлінських рішень, які базуються на обробці великих масивів експлуатаційної інформації. Це дає змогу оперативно реагувати на зміни в роботі транспортної системи, прогнозувати можливі затримки та обирати найбільш ефективні варіанти організації перевезень. Водночас ключовим фактором залишається не лише наявність інформації, а й здатність інтегрувати її в процес прийняття рішень на різних рівнях управління.

Таким чином, оптимізація транспортно-технологічних процесів у системі залізничних перевезень має комплексний характер і передбачає поєднання організаційних, технологічних та аналітичних заходів. Її реалізація дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів, скоротити витрати та забезпечити конкурентоспроможність залізничного транспорту на ринку транспортних послуг.

### **Література**

1. Li S., Zhao X., Liu Y. A robust optimisation approach of train timetabling for freight transportation // *Transportmetrica A: Transport Science*. 2023. DOI: 10.1080/23249935.2024.2385874.
2. Zhang X. Optimization design of railway logistics center layout based on mobile cloud edge computing // *PeerJ Computer Science*. 2023. DOI: 10.7717/peerj-cs.1298.
3. Dai A. Research on Optimization of Railway Logistics Costs Based on Containerization // *Advances in Economics, Management and Political Sciences*. 2025. Vol. 144. DOI: 10.54254/2754-1169/2024.GA19090.
4. Рибальченко Л. І. Використання Big Data для прийняття управлінських рішень у сфері експлуатаційної діяльності залізничного транспорту. *Наука і техніка сьогодні*. 2025. № 2(43). С. 1491–1501.
5. Рибальченко Л. І. Управління вагонопотоками на міжнародних залізничних маршрутах і шляхи підвищення ефективності. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Харків, 2024. Вип. 4. С. 97–104. DOI: 10.18664/ikszt.v29i4.320428
6. Rodríguez-Hernández M. et al. Digitalization as an enabler in railway maintenance *Infrastructures*. 2025. Vol. 10(4). <https://doi.org/10.3390/infrastructures10040096>

УДК 656.11:519.87

### **МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ**

**Савченко Лілія Анатоліївна**, к.т.н., доцент

*Національний університет біоресурсів та природокористування України* email:  
lilya\_savchenko@nubip.edu.ua

Транспортний потік – це динамічна система, поведінка якої залежить від одночасної взаємодії тисяч учасників, кожен із яких приймає індивідуальні рішення під впливом дорожніх умов, сигналів світлофорів та поведінки сусідніх

водіїв. Складність цієї системи виключає аналітичне розв'язання в загальному вигляді, тому єдиним інструментом прогнозування та оптимізації залишається математичне моделювання. Сьогодні існує щонайменше чотири принципово різні підходи-макроскопічний, мікроскопічний, агентний і мережевий, і вибір між ними залежить від масштабу задачі, доступних даних і необхідної точності [1].

Практична цінність моделювання надзвичайно висока: від оптимізації фазування світлофорів у мегаполісах до планування евакуаційних маршрутів у надзвичайних ситуаціях. Особливу увагу дослідників привертають нетривіальні кейси - події, де стандартні рішення зазнавали збоїв, а моделі дозволяли знайти несподіваний вихід. Мета роботи – систематизувати чотири основні методи моделювання транспортних потоків, визначити область застосування кожного та проілюструвати їх можливості на реальних прикладах [2].

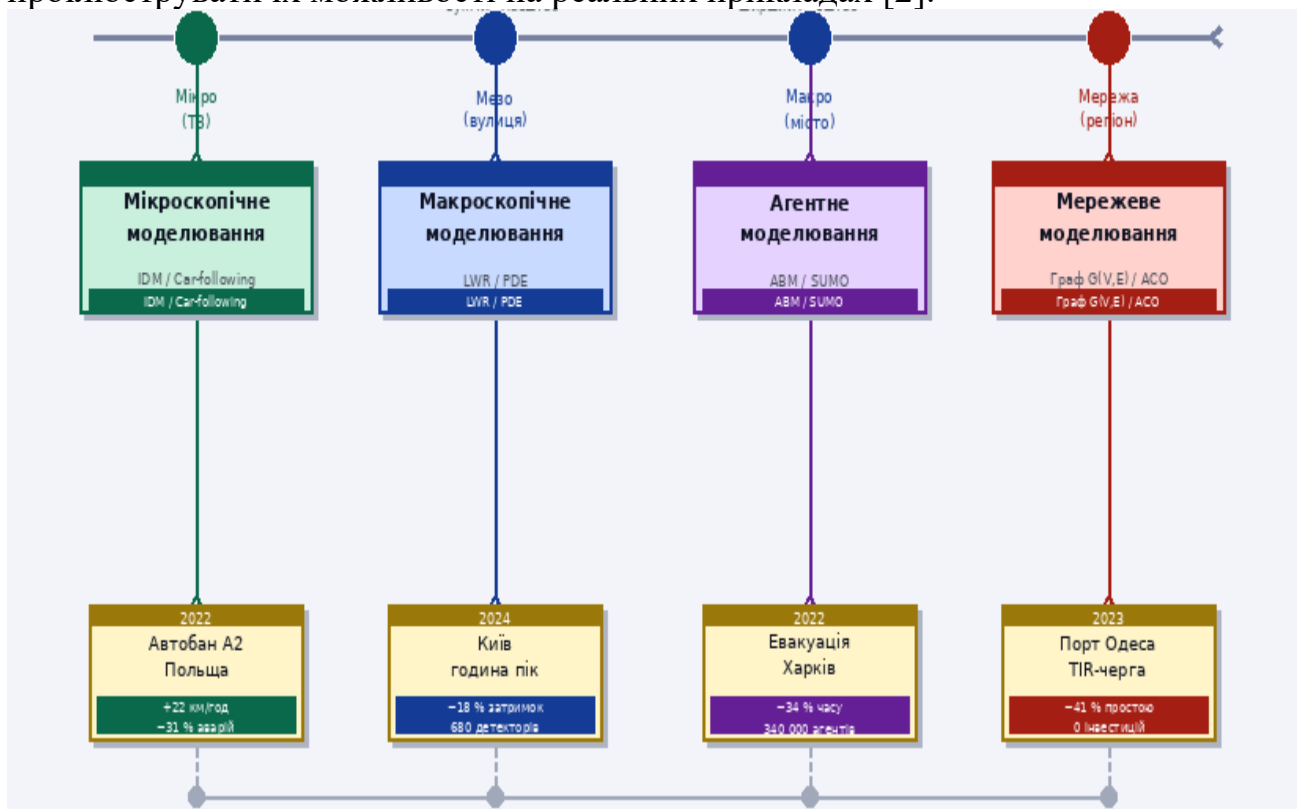


Рис. 1. Методи моделювання транспортних потоків на шкалі масштабу та реальні кейси застосування

На рис. 1 зображено авторську схему у форматі вертикальних колонок. Горизонтальний timeline зверху відображає шкалу масштабу - від мікро (окремий транспортний засіб) до мережевого рівня (регіон).

Під кожним вузлом шкали розміщено картку відповідного методу з назвою та базовою моделлю, а нижче - золотий кейс-блок із реальним прикладом застосування та задокументованим ефектом. Горизонтальна пунктирна лінія в нижній частині схеми символізує принцип гібридної комбінації методів, що дає найвищий сукупний результат.

Охарактеризуємо кожен метод і відповідний кейс.

Мікроскопічне моделювання відстежує рух кожного окремого транспортного засобу. Модель IDM (Intelligent Driver Model) описує

прискорення автомобіля залежно від поточної швидкості, бажаної швидкості, відстані до попередника та відносної швидкості. Кейс: мікроскопічне моделювання ділянки автобану А2 між Варшавою і Лодзем показало, що впровадження змінних обмежень швидкості (VSL) підвищує середню швидкість потоку на 22 км/год і скорочує кількість аварій на 31 % - за рахунок згладжування хвиль «стоп-го» [2].

Макроскопічне моделювання розглядає транспортний потік як стисливе середовище через три агреговані змінні: щільність  $\rho$ , швидкість  $v$  та інтенсивність  $q$ . Фундаментальне рівняння LWR -  $\partial\rho/\partial t + \partial(\rho v)/\partial x = 0$ . Кейс: калібрування моделі на основі даних 680 детекторів у Києві (2024) виявило три хронічні «пляшкові горлечка» та дозволило перерозподілити сигнальні плани – скорочення затримок у годину пік на 18 % [3].

Агентне моделювання (ABM) представляє кожного учасника руху як автономного агента з власними правилами та здатністю до навчання. Унікальний кейс: моделювання масової евакуації з Харківської агломерації у 2022 р. - 340 000 агентів-евакуйованих у симуляторі SUMO. Модель показала: два реверсивних виїзди скорочують час евакуації на 34 %. Рішення реалізоване на практиці [4].

Мережеве моделювання описує транспортну систему як орієнтований граф  $G(V, E)$ , де вершини - перехрестя, а ребра - дорожні сегменти з вагами. Кейс: черги ТІР у порту Одеса (2023) сягали 18 годин. Мережева модель з динамічним перепризначенням маршрутів скоротила час очікування на 41 % через три альтернативні коридори - без капітальних вкладень [1].

Фундаментальна діаграма (макроскопічний рівень):

$$q = \rho \cdot v_f \left( 1 - \rho / \rho_{\max} \right), \quad (1)$$

де  $q$  – інтенсивність потоку, авт/год;

$\rho$  – щільність, авт/км;

$v_f$  – швидкість вільного руху;

$\rho_{\max}$  – максимальна щільність (затор).

При  $\rho \rightarrow \rho_{\max}$ :  $q \rightarrow 0$  – модель відтворює колапс потоку [1].

Прискорення в моделі IDM (мікроскопічний рівень):

$$a(t) = a_{\max} \left[ 1 - (v / v_0)^\delta - (s^*(v, \Delta v) / s)^2 \right], \quad (2)$$

де  $a_{\max}$  – максимальне прискорення;

$v_0$  – бажана швидкість;

$s$  – фактична відстань до попереднього ТЗ;

$s^*(v, \Delta v)$  – безпечна дистанція;  $\delta = 4$ .

При  $\Delta v > 0$  бажана дистанція зростає – модель відтворює хвилі «стоп-го» [2].

Матриця табл. 1 дозволяє швидко обрати метод під конкретну транспортну ситуацію без детального вивчення математичного апарату кожної моделі. Ключовий висновок: жоден метод не отримав «✓✓» для всіх ситуацій – найвищий ефект забезпечує гібридний підхід, де мережева модель виконує стратегічну маршрутизацію, а мікроскопічна - точне налаштування критичних вузлів.

Таблиця 1. Матриця придатності методів моделювання для різних транспортних ситуацій

Ситуація / задача	Мікроскопічне (IDM)	Макроскопічне (LWR)	Агентне (ABM)	Мережеве G(V,E)
Оптимізація світлофора (1 вузол)	✓✓	✓	●	—
Пік трафіку в місті	●	✓✓	✓	✓
Аварія / закриття ділянки	✓✓	✓	✓	✓✓
Масова евакуація	●	●	✓✓	✓
Логістика вантажних коридорів	—	✓	●	✓✓
Планування нової дороги	●	✓✓	✓	✓✓
Паніка / нестандартна поведінка	—	—	✓✓	●
Мультимодальна мережа	—	●	✓	✓✓
✓✓ — відмінна придатність; ✓ — добра придатність; ● — часткова придатність; — не рекомендується				

Проведений аналіз чотирьох методів і відповідних практичних кейсів дозволяє зробити три висновки. По-перше, вибір методу визначається масштабом задачі: мікроскопічний підхід ефективний для окремих ділянок, мережевий - для регіональних коридорів (табл. 1, рис. 1). По-друге, найбільш нестандартні результати дає агентне моделювання в кризових сценаріях - кейс евакуації Харкова показав, що ABM здатне виявляти критичні рішення, невидимі в рамках агрегованих моделей. По-третє, фундаментальні залежності обох рівнів - рівняння LWR та модель IDM – є математично сумісними через спільну змінну щільності  $\rho$ , що відкриває можливість їх інтеграції в єдиний двомасштабний симулятор.

### Література

1. Papageorgiou M., Diakaki C., Dinopoulou V., Kotsialos A., Wang Y. Review of road traffic control strategies. *Proceedings of the IEEE*. 2003. Vol. 91, No. 12. P. 2043–2067. DOI: 10.1109/JPROC.2003.819610.
2. Treiber M., Kesting A. *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*. Berlin: Springer, 2013. 506 p. DOI: 10.1007/978-3-642-32460-4.
3. Savchenko L., Zagurskiy O., Makhmudov I., Matsiuk V. Assessment of socio-ecological efficiency of transport and logistics activity. *Proceedings of the 21st International Scientific Conference Engineering for Rural Development*. Jelgava, Latvia, 25–27.05.2022. P. 543–550.
4. Stodola P., Nohel J. Adaptive Ant Colony Optimization with Node Clustering for the Multidepot Vehicle Routing Problem. *IEEE Transactions on Evolutionary*

Computation. 2023. Vol. 27, No. 6. P. 1866–1880. DOI: 10.1109/TEVC.2022.3230042.

5. Pavlenko O., Muzylyov D., Shramenko N., Cagaňová D., Ivanov V. Mathematical modeling as a tool for selecting a rational logistical route in multimodal transport systems. *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*. Cham: Springer, 2023. P. 23–37. DOI: 10.1007/978-3-030-92968-82.

УДК 656.073.235

## ХОЛОДОВИЙ ЛАНЦЮГ: ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ШВИДКОПСУВНИХ ВАНТАЖІВ

Савченко Лілія Анатоліївна, к.т.н., доцент

Бумар Віталій, студент

Національний університет біоресурсів та природокористування України email: lilya\_savchenko@nubip.edu.ua

Зростання попиту на охолоджені та заморожені продукти в торговельних мережах України ставить перед транспортними операторами підвищені вимоги до якості обслуговування. За результатами галузевих досліджень, понад 60 % порушень температурного режиму виникають не під час руху транспортного засобу, а в точках переходу між ланками ланцюга - у доках завантаження, при перевалці у розподільних центрах та під час вимушених простоїв [1]. Це означає, що класичний підхід «обрати рефрижератор потрібного класу» є необхідною, але недостатньою умовою збереженості вантажу. Потрібна системна організація процесу з кількісними критеріями ефективності на кожній ланці.

Мета роботи – розробити метод оцінювання ефективності транспортного процесу перевезення швидкопсувних вантажів на основі системи взаємопов'язаних показників холодового ланцюга, інтегрованих із схемою IoT-моніторингу в точках переходу між ланками.

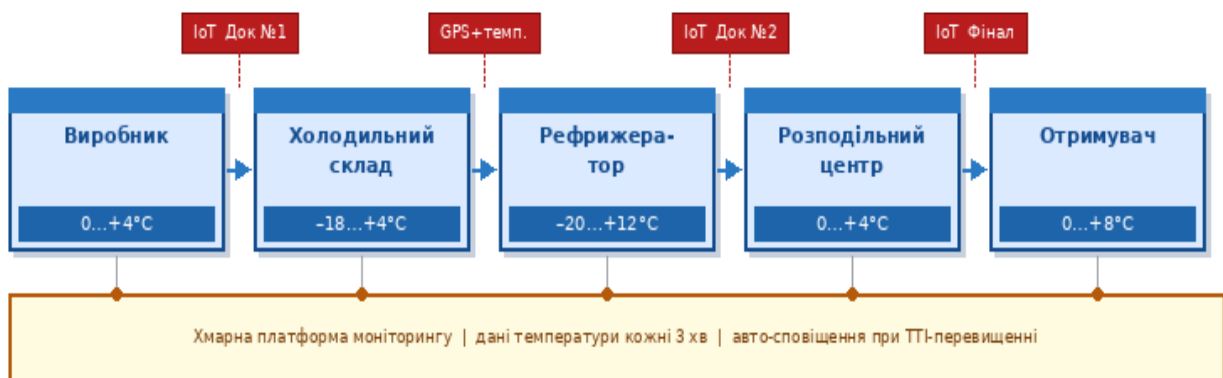


Рис. 1. Структура холодового ланцюга з IoT-точками контролю

На рис. 1 зображено п'ять вузлових ланок ланцюга: виробник – холодильний склад – рефрижератор – розподільний центр – отримувач. Кожна стрілка між ланками відповідає точці переходу, де встановлено IoT/GPS-датчик. Усі датчики передають покази температури раз на 3 хвилини до хмарної

платформи моніторингу, яка автоматично розраховує ТТІ і генерує сповіщення при перевищенні порогових значень. Така архітектура вперше дозволяє точно ідентифікувати вузол виникнення відхилення, а не лише фіксувати сам факт порушення на момент прибуття вантажу [2].

Для кількісного оцінювання ефективності холодового ланцюга запропоновано систему трьох показників.

1. Коефіцієнт неперервності холодового ланцюга  $K_{нх}$  - частка транзитних точок маршруту, де температурний режим підтримано в допустимих межах:

$$K_{нх} = n_{доп} / N_{заг} \times 100 \%, \quad (1)$$

де  $n_{доп}$  – кількість точок без відхилень;

$N_{заг}$  – загальна кількість IoT-точок на маршруті. Цільове значення:  $K_{нх} \geq 96 \%$ .

2. Температурно-часовий індекс (ТТІ) - накопичене теплове навантаження на вантаж від відхилень упродовж рейсу:

$$ТТІ = \sum (T_i - T_{ref}) \times \Delta t_i, \quad (2)$$

де  $T_i$  – температура на  $i$ -му інтервалі вимірювання, °С;

$T_{ref}$  – еталонна температура зберігання продукту, °С;

$\Delta t_i$  – тривалість інтервалу, год.

Перевищення граничного ТТІ є автоматичним тригером для зміни пріоритету чи маршруту доставки [3].

3. Питомі втрати від порушення режиму  $W$  - вартість зіпсованої продукції на одиницю маси партії:

$$W = (C_{пс} \times q_{пс}) / Q_{ф}, \quad (3)$$

де  $C_{пс}$  – вартість зіпсованої частини партії, грн;

$q_{пс}$  – її маса, кг;

$Q_{ф}$  – фактична маса всієї партії, кг. Показник  $W$  використовується для порівняння альтернативних схем маршрутизації та обґрунтування витрат на IoT-інфраструктуру.

Таблиця 1. Ефективність транспортного процесу до та після впровадження IoT-моніторингу

Показник	До впровадження	Після впровадження	Зміна
$K_{нх}$ , %	88,4	97,1	+8,7 п.п.
Середнє ТТІ за рейс, °С·год	14,2	4,8	-66 %
Питомі втрати $W$ , грн/кг	0,83	0,21	-75 %
Час реакції на відхилення, хв	47	6	-87 %
Частка рейсів без порушень, %	61	94	+33 п.п.

Результати імітаційного моделювання (табл. 1) отримано для маршруту протяжністю 320 км при перевезенні охолодженої молочної продукції класом FR. Базовий варіант — без автоматичного моніторингу; запропонований - з IoT-датчиками у п'яти вузлових точках (рис. 1). Скорочення показника  $W$  на 75 % забезпечує окупність витрат на IoT-інфраструктуру орієнтовно за 14–18 місяців.

Запропонований метод оцінювання на основі показників  $K_{нх}$ , ТТІ та  $W$  дозволяє перейти від реактивного реагування на факти псування до превентивного управління: система автоматично сигналізує про зростання теплового навантаження до досягнення критичної межі. Практичне

впровадження підходу потребує оснащення рухомого складу IoT-датчиками у точках переходу між ланками (рис. 1), інтеграції з хмарною платформою збору даних та налаштування порогових значень ТТІ під конкретну категорію продукту відповідно до вимог АТР.

### **Література**

1. Anufriyeva T., Matsiuk V., Shramenko N., Ilchenko N., Pryimuk O., Lebid V. Construction of a simulation model for the transportation of perishable goods along variable routes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 2, No. 4(122). P. 42–51. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277948.
2. Cil A. Y., Abdurahman D., Cil I. Internet of Things enabled real time cold chain monitoring in a container port. *Journal of Shipping and Trade*. 2022. Vol. 7(1). Art. 9. DOI: 10.1186/s41072-022-00110-z.
3. Zagurskiy O., Savchenko L., Makhmudov I., Matsiuk V. Assessment of socio-ecological efficiency of transport and logistics activity. *Proceedings of the 21st International Scientific Conference Engineering for Rural Development*. Jelgava, Latvia, 25–27.05.2022. P. 543–550.
4. Загурський О. М. Розробка інтегрованої транспортно-логістичної системи постачань швидкопсувних харчових продуктів. *Збірник тез VII МНП конф. «Автомобільний транспорт та інфраструктура»*. Київ : НУБіП України, 2024. С. 49-52.
5. Павленко О. В., Музильов Д. О. Стабільна модель функціонування логістики для постачання швидкопсувних продуктів маршрутами Україна – Польща. *Комунальне господарство міст*. 2023. Т. 1, Вип. 175. С. 237–242. DOI: 10.33042/2522-1809-2023-1-175-237-242.

УДК 656.13:355.4:004.896

## **МУРАШИНА ЛОГІСТИКА ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ**

**Савченко Лілія Анатоліївна**, к.т.н., доцент

**Гутник Едуард**, студент

*Національний університет біоресурсів та природокористування України* email:  
lilya\_savchenko@nubip.edu.ua

Переміщення важкої військової техніки-бронетранспортерів, самохідних артилерійських установок, інженерних машин - належить до класу задач, де ціна помилки маршрутизації вимірюється не лише грошовими витратами, а й тактичними втратами. Кожна колона переміщується в умовах трьох взаємодіючих невизначеностей: дорожньої (руйнування мостів, мінування узбіч), тактичної (зміна лінії зіткнення, загроза авіаудару) та технічної (обмеження допустимого осьового навантаження на дорожнє покриття залежно від масо-габаритних характеристик машин). Жодна з цих невизначеностей не є стаціонарною — вони змінюються протягом самого рейсу, що робить задачу динамічною за своєю природою [1].

Класичні детерміністичні алгоритми маршрутизації – алгоритм Дейкстри, метод гілок і меж – ефективно вирішують статичну задачу найкоротшого шляху, проте не мають механізму переплану-вання при зміні вагових коефіцієнтів ребер у реальному часі. Генетичні алгоритми адаптивніші, але потребують повного перезапуску при кожній зміні топології графа. Алгоритм мурашиних колоній (Ant Colony Optimization, ACO) принципово відрізняється від обох підходів: він підтримує актуальний розподіл феромонного сліду  $\tau(t)$  на всіх ребрах графа безперервно, а не точково, що дозволяє реагувати на нові обставини вже в рамках поточного циклу ітерацій без перезапуску процедури [2].

Метою даної роботи є побудова математичної моделі застосування ACO для задачі динамічної маршрутизації колони військової техніки та визначення умов, за яких алгоритм демонструє стійку перевагу над альтернативними методами.

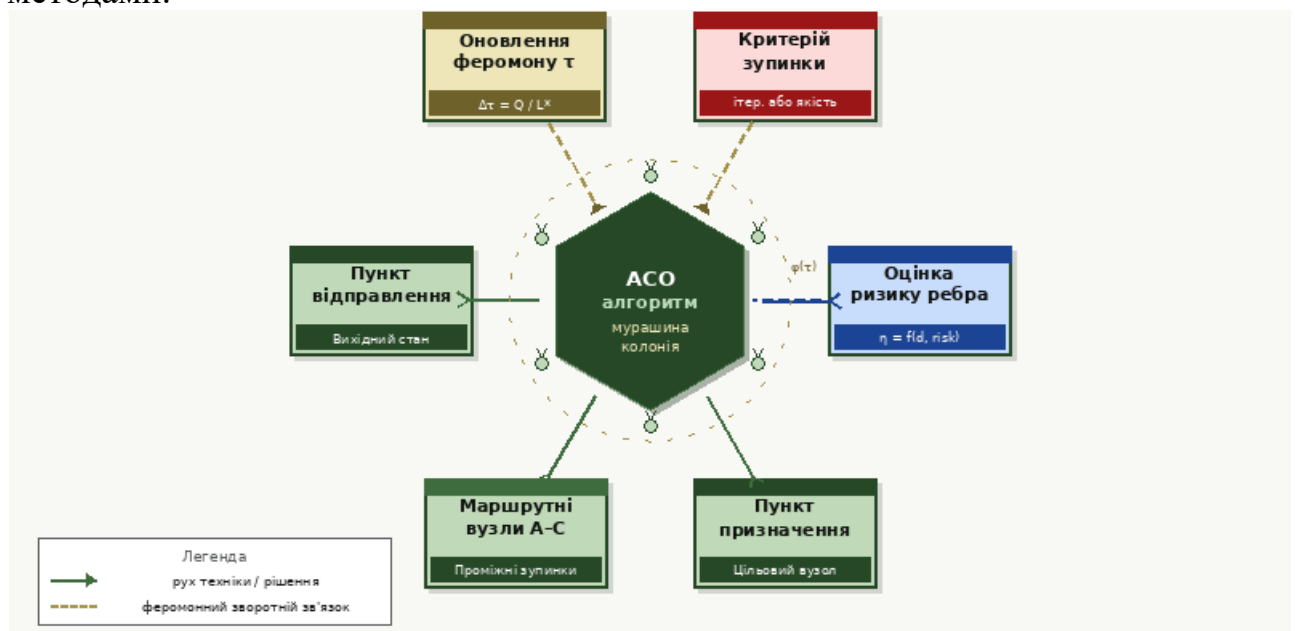


Рис. 1. Радіальна модель ACO-маршрутизації перевезення військової техніки

Рис. 1 ілюструє авторську радіальну модель, у якій ACO-алгоритм розміщено в центральному шестикутному вузлі - ядрі прийняття рішень. Навколо нього по колу розташовано шість функціональних блоків: пункт відправлення, маршрутні вузли А–С, пункт призначення, блок оцінки ризику ребра ( $\eta = f(d, risk)$ ), блок оновлення феромону ( $\Delta\tau = Q/L^*$ ) та блок критерію зупинки. Суцільні стрілки відображають передачу оптимізованого маршрутного рішення до фізичних вузлів руху; пунктирні - феромонний зворотній зв'язок від маршруту до ядра алгоритму. Пунктирне кільце  $\phi(\tau)$  навколо центру символізує безперервний характер оновлення феромонного сліду між ітераціями. Схематичні зображення «мурашок» між блоком ризику та ядром підкреслюють роль локальної евристичної інформації у формуванні ймовірності переходу.

Математичну основу моделі складають три співвідношення, що в сукупності описують повний цикл роботи алгоритму.

1. Ймовірність переходу  $k$ -ї мурашки з вузла  $i$  до вузла  $j$ :

$$p_{kij} = [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta / \sum_l \{[\tau_{il}]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta\}, \quad (1)$$

де  $\tau_{ij}$  – поточний рівень феромону на ребрі  $(i, j)$ ;

$\eta_{ij}$  – евристична привабливість ребра, що для задачі перевезення військової техніки визначається як  $\eta_{ij} = 1/(d_{ij} \cdot r_{ij})$ , де  $d_{ij}$  – відстань, а  $r_{ij}$  – безрозмірний коефіцієнт ризику ребра ( $0 < r \leq 1$ );  $\alpha, \beta$  – параметри, що регулюють відносний вплив феромону та евристики.

2. Правило оновлення феромонного сліду після завершення ітерації  $t$ :

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_k \Delta\tau_{kij}, \quad (2)$$

де  $\rho \in (0, 1)$  – коефіцієнт випаровування феромону, що моделює «забування» неефективних маршрутів;

$\Delta\tau_{kij} = Q / L_k$  якщо  $k$ -та мурашка проходила через ребро  $(i, j)$ , і 0 – інакше;

$Q$  – константа інтенсивності відкладання;

$L_k$  – сумарна зважена вартість маршруту  $k$ -ї мурашки з урахуванням ризиків [2].

3. Інтегральний показник якості маршруту  $Q_M$  – зважена сума вартісних складових, що враховує не лише відстань, а й тактичні обмеження:

$$Q_M = w_1 \cdot L_{\text{dist}} + w_2 \cdot R_{\text{total}} + w_3 \cdot T_{\text{del}}, \quad (3)$$

де  $L_{\text{dist}}$  – геометрична довжина маршруту, км;

$R_{\text{total}} = \sum r_{ij}$  – сумарний ризик по всіх ребрах маршруту;

$T_{\text{del}}$  – сумарний час затримок на маршруті (очікування відкриття вузла, переправи тощо), год;

$w_1, w_2, w_3$  – вагові коефіцієнти, що визначаються тактичним пріоритетом: при евакуації пошкодженої техніки  $w_3 \rightarrow \max$ ; при прихованому переміщенні –  $w_2 \rightarrow \max$ .

Дані табл. 1 отримано шляхом імітаційного моделювання на тестовому графі з 18 вузлами та 34 ребрами, що відповідає типовій дорожній мережі тактичної зони. В умовах незмінної топології АСО поступається детерміністичному методу за швидкістю першого рішення, проте забезпечує на 5–10 % кращу інтегральну якість маршруту  $Q_M$  завдяки врахуванню ризику ребер. При блокуванні одного з вузлів алгоритм Дейкстри зазнає повного збою (маршрут недоступний), тоді як АСО перерозподіляє феромонний слід протягом 3–5 додаткових ітерацій, що займає менше 0,4 с при  $m = 30$  мурашках [3].

Таблиця 1. Порівняльна ефективність методів маршрутизації колони військової техніки

Критерій	Дейкстра (статичний)	Генетичний алгоритм	АСО (мурашина логістика)	Перевага АСО
Q <sub>M</sub> при незмінній топографії	еталон	–4...–7 %	–5...–10 %	≤–10 %
Q <sub>M</sub> при заблокованому вузлі	∞ (збій)	перерахунок	онлайн адапт.	критична
Кількість ітерацій до рішення	1	50–200	20–80	у 2–3 рази < ГА
Урахування ризику ребра r	Ні	Частково	Так ( $\eta = f(r)$ )	повне
Потреба в повній карті	Так	Так	Ні	ключова
Час адаптації при збуренні	перезапуск	нова генерація	поточна ітер.	найшвидший

Проведене дослідження дозволяє сформулювати три практичні висновки щодо застосування мурашиної логістики в задачах перевезення військової

техніки. По-перше, введення коефіцієнта ризику  $g_{ij}$  безпосередньо у формулу евристичної привабливості  $\eta_{ij}$  трансформує АСО із задачі мінімізації відстані в задачу мінімізації тактичної вразливості маршруту — без зміни структури алгоритму. По-друге, гнучкість вагових коефіцієнтів  $w_1-w_3$  у показнику  $Q_m$  дозволяє оперативно перемикатись між тактичними пріоритетами (швидкість, прихованість, безпека) шляхом коригування одного числового параметра. По-третє, властивість алгоритму не потребувати повної карти графа заздалегідь є принциповою перевагою саме в умовах неповних розвідувальних даних, коли частина ребер стає відомою лише в процесі руху колони [1, 3].

### Література

1. Stodola P., Otrisal P., Hasilová K. Adaptive Ant Colony Optimization with node clustering applied to the Travelling Salesman Problem. *Swarm and Evolutionary Computation*. 2022. Vol. 70. Art. 101056. DOI: 10.1016/j.swevo.2022.101056.
2. Dorigo M., Stützle T. Ant Colony Optimization: Overview and Recent Advances. In: Gendreau M., Potvin J.-Y. (eds.) *Handbook of Metaheuristics*. International Series in Operations Research & Management Science, vol. 272. Cham: Springer, 2019. P. 311–351. DOI: 10.1007/978-3-319-91086-410.
3. Stodola P., Nohel J. Adaptive Ant Colony Optimization with Node Clustering for the Multidepot Vehicle Routing Problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2023. Vol. 27, No. 6. P. 1866–1880. DOI: 10.1109/TEVC.2022.3230042.
4. Pavlenko O., Muzylyov D., Shramenko N., Cagáňová D., Ivanov V. Mathematical modeling as a tool for selecting a rational logistical route in multimodal transport systems. *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*. Cham: Springer, 2023. P. 23–37. DOI: 10.1007/978-3-030-92968-82.
5. Matsiuk V., Opalko V., Savchenko L., Zagurskiy O., Matsiuk N. Optimisation of transport and technological system parameters of an agricultural enterprise in conditions of partial uncertainty. *Machinery & Energetics*. 2023. Vol. 14, No. 3. P. 61–71. DOI: 10.31548/machinery/3.2023.61.

УДК 656.073.235:004.94

## ОРГАНІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: МУЛЬТИМОДАЛЬНІ СХЕМИ ТА ЦИФРОВЕ УПРАВЛІННЯ

Савченко Лілія Анатоліївна, к.т.н., доцент

Костенко Олександра, студентка

Національний університет біоресурсів та природокористування України

email: lilya\_savchenko@nubip.edu.ua

Повномасштабна збройна агресія стала системним викликом для логістичної галузі України: блокування чорноморських портів унеможливило традиційні експортні маршрути, а руйнування інфраструктури на сході й півдні країни розірвало усталені ланцюги постачання. За різними оцінками, блокада

морських портів спричинила падіння зернового експорту на 30–50 % у 2022–2023 роках [1]. Металургійна галузь зазнала ще більших втрат: виведення з ладу Маріупольського ММК ім. Ілліча, «Азовсталі» та Алчевського комбінату скоротило експорт металопродукції до 70 % від довоєнного рівня [2]. У 2024–2025 роках ключовими викликами залишаються непередбачуваність попиту, дефіцит кваліфікованих водіїв і логістів внаслідок мобілізації та необхідність синхронізації цивільної й військової логістичних ланок.

*Мета роботи* – обґрунтувати доцільність переходу до мультимодальних логістичних схем та впровадження автоматизованих систем управління транспортом (Transportation Management System, TMS) для підвищення стійкості ланцюгів постачання в умовах постійних безпекових ризиків.

Блокування морських портів змусило бізнес і державні структури переорієнтуватися на «західний вектор» логістики. Стратегічними артеріями стали прикордонні переходи з країнами ЄС, через які прокладено Коридори солідарності (Solidarity Lanes). Між травнем 2022-го і вереснем 2023 року обсяг торгівлі через ці коридори склав близько 108 млрд євро [1]. Паралельно розгорнуто розбудову «сухих портів» - контейнерних терміналів поблизу кордону (зокрема у Фастові) для прискореного перевантаження між залізницею та автотранспортом. Принципова відмінність нинішньої доби від довоєнної логіки — відмова від концепції «точно вчасно» (Just-in-Time) на користь моделі «на всякий випадок» (Just-in-Case): компанії формують резервні запаси на децентралізованих складах переважно у західних регіонах, що знижує ймовірність повного розриву ланцюга постачання при ударі по одному вузлу [2, 4].

Стійкість досягається через мультимодальність: поєднання залізничних, автомобільних та річкових (Дунай) шляхів дозволяє нівелювати ризики руйнування окремих ділянок мережі. Водночас різниця в ширині колій — 1520 мм в Україні проти 1435 мм у ЄС - залишається структурним обмеженням, що збільшує час перевантаження на кордоні. Інтеграція України до Транс'європейської транспортної мережі (TEN-T) передбачає поступову уніфікацію технічних стандартів і цифрових протоколів (e-CMR — електронна транспортна накладна), яка здатна суттєво скоротити митні процедури [4, 5].



Рис. 1. Алгоритм процесу перевезення вантажів з використанням системи TMS

Ключовим інструментом підвищення ефективності логістичного управління є система TMS. Згідно з авторською схемою (рис. 1), процес перевезення за допомогою TMS охоплює чотири послідовні етапи: (1) формування цифрової заявки на перевезення замість паперових журналів; (2) автоматизована оптимізація маршруту з урахуванням поточної безпекової ситуації та наявності паливних ресурсів; (3) оперативне доведення завдання виконавцям через цифрові канали; (4) моніторинг руху вантажу й стану транспортного засобу в реальному часі - що є критичним для запобігання втратам у «точках переходу» між видами транспорту [3].

Впровадження TMS охоплює одночасно два сектори. У цивільному сегменті система дозволяє автоматизувати підбір маршрутів, моніторинг витрат пального та електронний документообіг, що в умовах дефіциту персоналу компенсує скорочення штату водіїв і диспетчерів [4]. У військовому секторі пілотування системи SAP та схожих TMS-рішень надає логістам ЗСУ інструмент для контролю ресурсів у реальному часі - від приймання на складі до доставки безпосередньо в підрозділ - і закладає підґрунтя для переходу від хаотичного управління до чіткого циклу «планування - виконання - контроль» [3].

Окремими складовими стійкості логістичної системи є енергетична незалежність вузлів і вирішення кадрового дефіциту. Сучасний логістичний термінал у 2025 році оснащується автономними джерелами живлення й зв'язку, що гарантує безперебійність операцій під час блекаутів. Мобілізація водіїв і логістів стимулює компанії до прискореної автоматизації складських процесів і залучення нових категорій персоналу, включно з жінками та особами з обмеженими фізичними можливостями [1, 2].

Таблиця 1. Порівняльна ефективність логістичних схем в умовах воєнного стану

Критерій	Лінійні маршрути (без TMS)	Just-in-Time (до 2022 р.)	Мультиmodalність + TMS	Перевага нової схеми
Реакція на руйнування вузла інфраструктури	Зупинка ланцюга постачання	Перебої в постачанні	Переключення на альтернативний вид транспорту	Критична
Контроль вантажу в реальному часі	Ні	Частково	Так (GPS + TMS)	Повний
Резервування запасів	Мінімальне (JIT)	Відсутнє	Децентралізовані склади (Just-in-Case)	Висока стійкість
Автоматизація документообігу (e-CMR)	Ні	Ні	Так	Прозорість
Час адаптації маршруту при зміні ситуації	Ручне перепланування (год)	Перезапуск ланцюга	Автоматично (хв)	У 10–20 разів швидше
Залежність від морських портів	Критична	Критична	Мінімальна (Дунай + залізниця + авто)	Диверсифікація

Складено авторами за [1, 2, 4, 5].

Як свідчать дані табл. 1, перехід від лінійних маршрутів до мультимодальних схем у поєднанні з впровадженням TMS формує якісно новий рівень стійкості ланцюга постачання. Ключовим ефектом є скорочення часу адаптації маршруту при виникненні надзвичайної ситуації у 10-20 разів порівняно з ручним перерозплануванням. Практичне застосування запропонованої архітектури вимагає одночасного вирішення трьох взаємопов'язаних завдань: інституційної інтеграції в TEN-T через уніфікацію цифрових стандартів; фізичного розвитку прикордонної інфраструктури (сухі порти, термінали, переходи); та нарощування кадрового потенціалу через автоматизацію рутинних операцій і перепідготовку персоналу. Виконання цих умов створить передумови для перетворення воєнних логістичних інновацій на конкурентну перевагу України у повоєнний відбудовчий період.

### **Література**

1. Як війна вплинула на логістику України: розмова з директором компанії TVL. URL: <https://landlord.ua/news/logistika/yak-vijna-vplynula-na-logistyku-ukrayiny-rozмова-z-dyrektorom-kompaniyi-tvl/> (дата звернення: 10.04.2025).
2. Логістика України під час війни: виклики та перспективи. TSN. URL: <https://tsn.ua/groshi/logistika-ukrayini-pid-chas-viyuni-vikliki-ta-perspektivi-2715261.html> (дата звернення: 10.04.2025).
3. Цифрова логістика в ЗСУ: автоматизація транспорту під час війни. Speka Media. URL: <https://speka.ua/miltech/cifrova-logistika-v-zsu-avtomatizaciya-transportu-pid-cas-viini-v45251> (дата звернення: 10.04.2025).
4. Майбутнє логістики у 2024–2025: тренди, що формують галузь. Proficargo. URL: <https://www.proficargo.com.ua/novini/majbutnye-logistyku-u-2024-2025-trendy-shho-formuyut-galuz.html> (дата звернення: 10.04.2025).
5. Киндич Т. Логістика в умовах воєнного стану. Збірник тез ТНТУ. Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 112–113. URL: [https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/45175/2/FMZKP\\_2024\\_Kyndych\\_T-Logisticsinconditions\\_112-113.pdf](https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/45175/2/FMZKP_2024_Kyndych_T-Logisticsinconditions_112-113.pdf).

УДК 656.025.2:004.94(477-25)

## **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ МАРШРУТИЗАЦІЇ У МЕЖАХ МІСТА (ПРОЄКТ KYIV CITY TOUR)**

**Савченко Лілія Анатоліївна**, к.т.н., доцент

**Нефедова Ксенія**, учениця 157 лицею Оболонського району, м. Києва  
*Національний університет біоресурсів та природокористування України* email:  
[lilya\\_savchenko@nubip.edu.ua](mailto:lilya_savchenko@nubip.edu.ua)

Щодня вантажні автомобілі витрачають зайве паливо через неоптимально складені маршрути. Задача маршрутизації транспортних засобів (Vehicle Routing Problem, VRP) - це пошук найкращого порядку об'їзду точок доставки, щоб мінімізувати пробіг та час. У практичній логістиці її вирішують за допомогою спеціальних програм із вбудованими алгоритмами оптимізації [1].

У межах учнівського проєкту «Kyiv City Tour» досліджено, як платформа ANT Logistics розподіляє маршрути між двома автобусами різних марок і які техніко-економічні результати вони показують при однаковій кількості точок доставки.

Мета: побудувати оптимальні маршрути для двох автобусів у центрі Києва, порівняти їхній пробіг та ефективність використання робочого часу.

Алгоритм роботи в ANT Logistics. Роботу виконано у чотири кроки: 1) створено склад за адресою вул. Хрещатик, 10; 2) додано 8 торгових точок (т1-т8) з часовим вікном 08:00–18:00; 3) введено два автобуси - Neoplan Bus та MAN Bus; 4) запущено автоматичну оптимізацію. Система самостійно розподілила точки між автобусами і сформувала маршрутні листи.

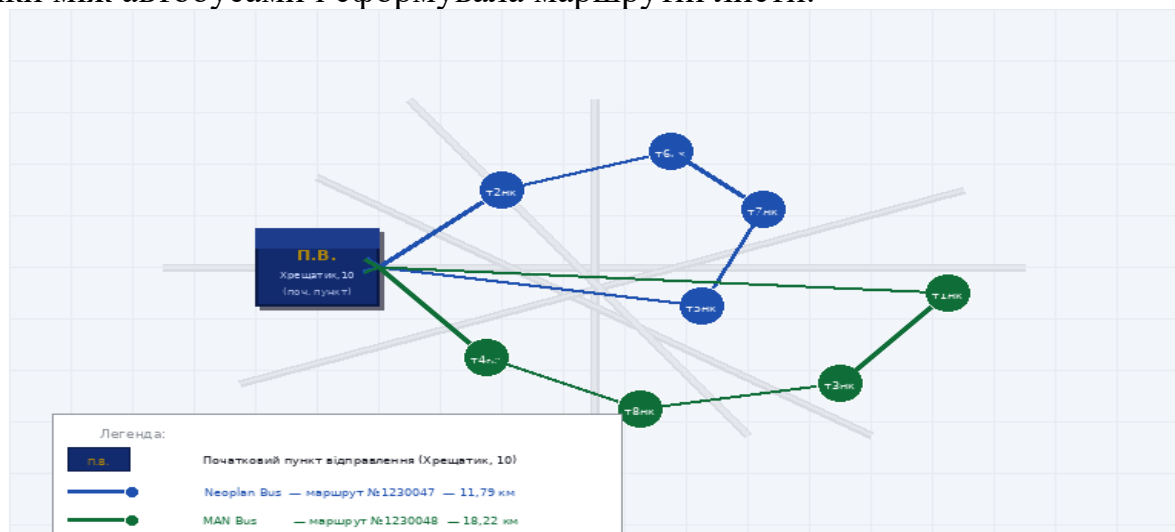


Рис. 1. Маршрути двох автобусів на карті Києва

На рис. 1 синіми стрілками показано маршрут Neoplan Bus (т2 → т6 → т7 → т5), зеленими – MAN Bus (т4 → т8 → т3 → т1). Обидва маршрути починаються і закінчуються на складі (коричневе коло – Хрещатик).

Порівняння маршрутів Neoplan Bus та MAN Bus   Kyiv City Tour				
Neoplan Bus №1230047			MAN Bus №1230048	
Пробіг	11,79 км	-35 %	Пробіг	18,22 км
Тривалість	8 год 28 хв	-10 хв	Тривалість	8 год 38 хв
Час у русі	28 хв	-10 хв	Час у русі	38 хв
Швидкість	25 км/год	-4	Швидкість	29 км/год
d_пит	2,95 км/т.	-35 %	d_пит	4,56 км/т.
K_хч	5,5 %	-1,8 п.п.	K_хч	7,3 %
Маршрут	т2→т6→т7→т5нк		Маршрут	т4→т8→т3→т1нк

Джерело: маршрутні листи ANT Logistics №1230047 та №1230048

Рис. 2 Порівняльна таблиця показників двох маршрутів

Рис. 2 показує всі ключові показники поруч: пробіг, тривалість зміни, час у русі, швидкість, питому відстань і коефіцієнт ходового часу. Посередині вказана різниця між маршрутами (–35 %, –10 хв тощо).

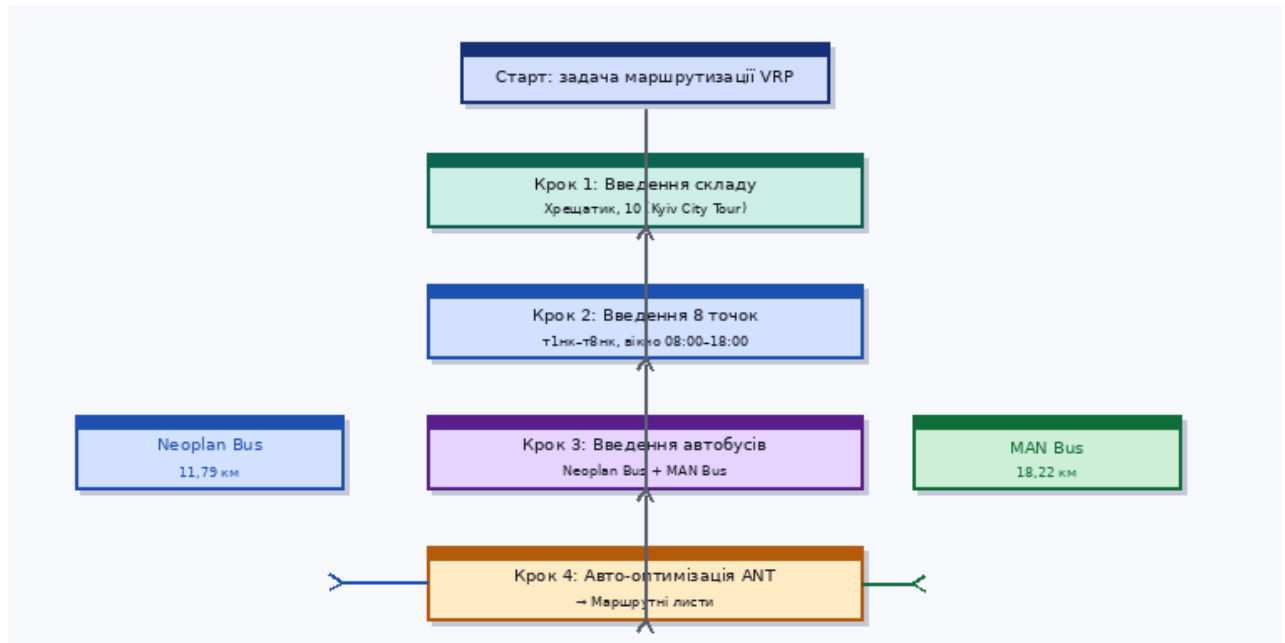


Рис. 3 Блок-схема процесу оптимізації маршрутів у ANТ Logistics

Рис. 3 відображає послідовність дій від постановки задачі до отримання маршрутних листів. Після кроку 4 (оптимізація) система видає два результати – окремо для кожного автобуса.

Для порівняння маршрутів використано два показники.

1. Питома відстань  $d_{\text{пит}}$  – скільки кілометрів припадає на одну точку доставки:

$$d_{\text{пит}} = L_{\text{заг}} / n \quad (1)$$

Neoplan Bus:  $11,79 / 4 = 2,95$  км/точку. MAN Bus:  $18,22 / 4 = 4,56$  км/точку. Різниця – 54 % на користь Neoplan Bus.

2. Коефіцієнт ходового часу  $K_{\text{хч}}$  – яку частину зміни автобус проводить у дорозі:

$$K_{\text{хч}} = T_{\text{хід}} / T_{\text{зм}} \times 100 \%, \quad (2)$$

Neoplan Bus:  $28 / 508 \times 100 \% = 5,5 \%$ . MAN Bus:  $38 / 518 \times 100 \% = 7,3 \%$ . Обидва автобуси більшість часу проводять у точках обслуговування, а не в дорозі.

Таблиця 1. Результати маршрутизації (ANТ Logistics, 03.10.2025)

Показник	Розмірність	Neoplan Bus №1230047	MAN Bus №1230048
Маршрут точок	—	т2→т6→т7→т5	т4→т8→т3→т1
Загальний пробіг	км	11,79	18,22
Тривалість зміни	год / хв	8 год 28 хв	8 год 38 хв
Час у русі	хв	28	38
Середня швидкість	км/год	25	29
Питома відстань ( $d_{\text{пит}}$ )	км/точку	2,95	4,56
Коефіцієнт використання часу ( $K_{\text{хч}}$ )	%	5,5	7,3

За результатами дослідження зроблено три висновки. По-перше, Neoplan Bus отримав коротший маршрут – 11,79 км проти 18,22 км у MAN Bus. Це означає менші витрати палива та нижчу собівартість рейсу. По-друге, обидва автобуси завершують зміну майже одночасно (різниця лише 10 хвилин), хоча пробіг відрізняється на 54 %. Це свідчить, що ANT Logistics вирівнює навантаження на водіїв за часом, а не за кілометражем. По-третє, більшу частину робочої зміни обидва автобуси стоять у точках обслуговування, а не їдуть: Кхч складає лише 5,5 % та 7,3 %. Це треба враховувати при плануванні кількості машин і розрахунку норм часу.

### **Література**

1. ANT Logistics. Система автоматизації транспортної логістики. URL: <https://ant-logistics.com> (дата звернення: 03.10.2025).
2. Toth P., Vigo D. Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications. 2nd ed. Philadelphia: SIAM, 2014. 481 p.
4. Shramenko N., Shramenko V., Muzylyov D. Methodological approach to assessing the efficiency of the piece goods delivery system. Transport Problems. 2022. Vol. 17 (2). P. 81–92.

УДК 656.078

## **ПЕРСПЕКТИВА ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСТАВКИ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИМ ЦЕНТРОМ У КОНТЕЙНЕРАХ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ**

**Черепаша Олександр Сергійович**, к.т.н., доцент

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

e-mail: a.cherepaha@tek-europa.com.ua

У післявоєнний період одним із пріоритетних напрямків розвитку української економіки є модернізація транспортної інфраструктури та підвищення її інтеграційного потенціалу в європейський транспортний простір. Це сприятиме зміцненню міжнародних логістичних зв'язків, зростанню обсягів перевезень запасних частин та сталому відновленню української автомобільної промисловості.

Використання принципів управління ланцюгами поставок набуло широкого поширення в різних галузях промисловості як ефективний інструмент підвищення операційної ефективності та продуктивності бізнесу. У будівельній галузі управління ланцюгами поставок відіграє важливу роль у стратегічному плануванні, сприяє зміцненню взаємодії з постачальниками та забезпечує більш ефективну реалізацію проектів. Незважаючи на важливість цієї концепції, досліджень щодо формування стійких ланцюгів поставок будівельних матеріалів в умовах невизначеності все ще недостатньо [1]. Для виробничих підприємств, які працюють з широким спектром сировини, що походить з різних країн і континентів, надзвичайно важливо створити високоефективну систему управління процесами постачання [2]. У конкурентному середовищі, зокрема на ринку Європейського Союзу, виробники повинні враховувати логістичні бар'єри

[3], оцінювати ризики та можливі збої [4], а також визначати ступінь впливу показників стійкості на ефективність своїх ланцюгів постачання [5, 6].

Останнім часом спостерігається стійка тенденція до розширення ринку автомобільних запчастин та комплектуючих різних типів. Зі зростанням обсягів виробництва та попиту на технічне обслуговування автомобілів зростає і потреба у пошуку більш раціональних шляхів та методів організації постачання цих товарів. Оптимізація параметрів вантажопотоків під час міжнародних перевезень запчастин з країн Європейського Союзу стає особливо актуальною для України, яка активно інтегрується в європейський ринок і водночас відновлює власну транспортну інфраструктуру.

Процес доставки продукції на світовому ринку включає виконання численних операцій, робіт і послуг, спрямованих на забезпечення ефективного розподілу матеріальних, фінансових та інформаційних потоків. У таких умовах підприємства, що займаються виробництвом і експортом товарів, зосереджують увагу на створенні оптимальної системи організації перевезень у міжнародному сполученні, яка б забезпечувала своєчасну, надійну та економічно вигідну доставку вантажів [7].

Специфіка міжнародних контейнерних перевезень висуває вимоги до пошуку ефективних рішень для раціонального використання наявних ресурсів – транспортних засобів, контейнерів, складів консолідації та дистрибуції [8]. При цьому особливу увагу слід приділяти скороченню часу виконання операцій, зниженню ризиків [8] і забезпеченню високого рівня задоволення вимог замовників [9]. Важливо, щоб компанії, які займаються доставкою, мали достатній вибір технологічних варіантів постачання, що дозволить враховувати ці умови при розробленні нових методичних підходів до визначення ефективної технології доставки запасних частин транспортно-логістичним центром у контейнерах у міжнародному сполученні.

При транспортному обслуговуванні отриманих замовлень на адресу транспортно-логістичних центрів при організації доставці вантажів автомобільним та залізничним транспортом у міжнародному сполученні виникають багато складностей. Тому у літературних джерелах авторами виявлені наступні проблеми та шляхи їх рішення: визначення оптимального використання всіх видів ресурсів в умовах невизначеності на ринку транспортних послуг [8-10]; обмежене використання оцінок ризиків в функціонуванні транспортно-логістичних центрів впливає на зниження якості обслуговування замовлень [11-13]; наявність обмежуючих умов при прийнятті оперативних рішень при управлінні транспортно-логістичними процесами [14-16].

### **Література**

1. Ghamari H., Jahromi H. A., Mirhosseini S. M. Providing a Framework to Optimize the Sustainable Construction Material Supply Chain with the Possibility of Horizontal Transfers. *Sustainable Futures*. 2024. P. 100328.
2. Haidabrus B., Grabis J., Protsenko S. Agile Project Management Based on Data Analysis for Information Management Systems. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Zajac, J., Peraković, D. (eds) *Advances in De-sign, Simulation and*

Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 2021. P. 174–182.

3. Waqas M., Honggang X., Khan S.A.R., Ahmad N., Ullah Z., Iqbal M. Impact of Reverse Logistics Barriers on Sustainable Firm Performance via Reverse Logistics Practic-es. LogForum. 2020. Vol. 17(2). P. 213–230.

4. Ersoy, P., Tanyeri, M. Risk management tools in the road transportation industry with mediation and modera-tion analysis. LogForum. 2021. Vol. 17(4), P. 555–567.

5. Rana, J., Ahmad, M.Z., Islam, M.F., Jihad, M.N.I., Rashed, M., Kamruzzaman, M. Optimizing supply chain performance through sustainable manufacturing practices and capabilities in emerging markets: an integrated linear (PLS-SEM) and non-linear (fsQCA) approach. Cleaner Logistics and Supply Chain. 2025. Vol.16. P. 100257.

6. Boujarif, A., Coit, D.W., Jouini, O., Zeng, Z., Heidsieck, R. Repairing smarter: Opportunistic maintenance for a closed-loop supply chain with spare parts dependency. Relia-bility Engineering & System Safety. 2025. Vol. 255. P. 110642.

7. Shaabani H. A literature review of the perishable inventory routing problem. The Asian Journal of Shipping and Logistics. 2022. Vol. 38(3). P. 143–161.

8. Agarwal, A., Ewald, C.O., Zou, Y. Robust valuation and optimal harvesting of forestry resources in the presence of catastrophe risk and parameter uncertainty. European Journal of Operational Research. 2025. P. 10007.

9. Taran I., Kairatkyzy G., Pavlenko O., Nefyodov V., Muzylyov D. Determining the optimal service area of a logistics center: a quantitative approach. Transport Problems. 2025. Vol. 20(3). P. 5–18.

10. Wu, W.-X., Sun, R., Liu, X.-M., Huang, H.-J., Tian, L.-J., Shang, H.-Y. Optimal pricing and vehicle allocation in local ride-sharing markets with user heterogeneity. Transpor-tation Research Part C: Emerging Technologies. 2025. Vol. 174. P. 105084.

11. Нефьодов В.М., Павленко О.В., Калініченко О.П. Методика формування ресурсозберігаючої технології доставки вантажів транспортно-логістичним центром. Комунальне господарство міст. 2018. № 142. С. 96–102.

12. Wang, S., Wang, H., Xue, G., Han, Y., Qin, Q., Zhang, L., Ma, X. Correlation analysis of failure risk factors in automated container port logistics systems from a resilience perspective. Journal of Sea Research. 2024. Vol. 202. P. 102552.

13. Monios, J., Bergqvist, R. Terminal-centric logis-tics for integrated and profitable intermodal transport net-works. Journal of Transport Geography. 2025. Vol. 129. P. 104386.

14. Orda O., Nagorny Y., Potaman N. Approach to the forming of rational technology for the export cargoes delivery in supply chain on the principles of co-modality. ETR. 2024. Vol. 3. P. 194–199.

15. Muzylyov D. Medvediev I., Pavlenko O. Risk factor assessment in agricultural supply chain by fuzzy logic. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2024. Vol. 1376 (1). P. 012038.

16. Chen Y Optimizing the efficiency and cost of enterprise logistics warehouse: From the perspective of green supply chain management. Innovation and Green Development. 2025. Vol. 4(5). P. 100296.

УДК 656.073

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТЕЙНЕРИЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ РОЗВИТКУ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЇ ЛОГІСТИКИ**

**Шапатіна Ольга Олександрівна**, к.т.н., доцент, доцент,  
**Крашенінін Олександр Семенович**, д.т.н., професор, професор  
**Кім Катерина Володимирівна**, к.псих.н., доцент, доцент,  
**Троян Денис Олександрович**, аспірант  
*Український державний університет залізничного транспорту*  
e-mail: shapatina@ukr.net

Контейнеризація сьогодні виступає не просто технологічним рішенням, а системоутворюючим інструментом уніфікації логістичних процесів та інтеграції національної економіки у глобальні ланцюги. В умовах стратегічного курсу України на приєднання до транс'європейської транспортної мережі TEN-T та необхідності післякризового відновлення економіки, нарощування частки контейнерних перевезень, передусім на залізничному транспорті, набуває ключового значення.

Наразі рівень контейнеризації вантажопотоків в Україні залишається критично низьким – менш ніж 4% загального обсягу перевезень. Для порівняння, у країнах Європейського Союзу цей показник коливається в межах 35–55% [1]. Такий розрив свідчить не лише про технологічне відставання, а й про структурні дисбаланси в організації логістичної системи.

Одним із головних стримуючих чинників є інфраструктурні обмеження. Йдеться про недостатню кількість сучасних мультимодальних терміналів, здатних забезпечувати швидке перевантаження контейнерів між залізничним, автомобільним та морським транспортом. Особливо гострою залишається проблема стикування колій різної ширини – 1520 мм та 1435 мм, що створює додаткові часові та фінансові витрати і ускладнює інтероперабельність із європейською транспортною системою [2].

Водночас контейнеризація нерозривно пов'язана з розвитком мультимодальних перевезень – інтегрованої моделі транспортування, у якій вантаж переміщується кількома видами транспорту за єдиним логістичним договором та з мінімальними операціями перевантаження. Саме контейнер є універсальною ланкою, що забезпечує безперервність ланцюга «порт – залізниця – автомобільний транспорт – кінцевий споживач». Розвиток мультимодальних сервісів дозволяє:

- скоротити час доставки за рахунок оптимального комбінування видів транспорту;
- мінімізувати ризики пошкодження вантажу;
- зменшити витрати на перевалку;
- підвищити екологічність перевезень шляхом перенесення значної частини вантажопотоків з автодоріг на залізницю.

Окремою проблемою є управлінська неузгодженість процесів. Відсутність єдиної цифрової платформи для прогнозування попиту, планування графіків та координації контейнерних потоків призводить до неефективного використання рухомого складу. Значна частка порожнього пробігу контейнерів і платформ свідчить про потребу в системному впровадженні інтелектуальних інструментів управління.

Досвід європейських країн демонструє, що зростання контейнеризації прямо корелює з цифровою трансформацією логістики. Використання алгоритмів машинного навчання для оптимізації маршрутів і розкладів, застосування Big Data для аналізу потоків, а також автоматизовані системи управління терміналами забезпечують високу швидкість та передбачуваність перевезень. У межах системного аналізу та математичного моделювання можливо ідентифікувати критичні «вузькі місця» мережі та сформулювати сценарії їх усунення.

Для активізації контейнеризації та розвитку мультимодальних перевезень доцільно реалізувати три стратегічні напрями:

1. Інтелектуалізація управління – створення єдиної цифрової екосистеми на базі технологій штучного інтелекту та Big Data для оптимального розподілу контейнерного парку, прогнозування попиту та синхронізації графіків різних видів транспорту.

2. Інфраструктурна модернізація – формування мережі опорних мультимодальних хабів із сучасним перевантажувальним обладнанням, автоматизованими складськими комплексами та інтегрованими ІТ-системами, а також підвищення пропускної спроможності прикордонних переходів.

3. Повна цифровізація документообігу – впровадження електронних перевізних документів, смарт-контрактів і захищених цифрових рішень (зокрема на основі технології Blockchain), що дозволить скоротити час простою вантажів і підвищити прозорість операцій.

Таким чином, підвищення ефективності контейнеризації в Україні має розглядатися як комплексний проєкт трансформації всієї логістичної системи, де залізничний транспорт відіграє роль базового екологічного та інтеграційного елементу. Реалізація окреслених напрямів забезпечить зростання обсягів перевезень, підвищення стійкості транспортної мережі та ефективну інтеграцію України у європейський та світовий транспортно-логістичний простір.

### **Література**

1. Транспортна стратегія до 2030 року і роль залізниці в ній. URL: <https://www.railinsider.com.ua/rol-zalznici-v-transportnij-strategiyi/>.

2. Аналіз регуляторного впливу. URL: <https://mtu.gov.ua/files/%D0%90%D0%9D%D0%90%D0%9B%D0%86%D0%97%20%D0%A0%D0%95%D0%93%D0%A3%D0%9B%D0%AF%D0%A2%D0%9E%D0%A0%D0%9D%D0%9E%D0%93%D0%9E%20%D0%92%D0%9F%D0%9B%D0%98%D0%92%D0%A3%200805.docx>.

УДК 656.073

## **МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ ЗА УЧАСТЮ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

**Шульдінер Юлія Володимирівна**, к.т.н., доцент,

**Петрик Сергій Вікторович**, аспірант

**Бабак Євген Олександрович**, магістр,

**Мигуліна Дарина Сергіївна**, магістр,

*Український державний університет залізничного транспорту, Харків*

e-mail: julia.shuldiner@gmail.com

У сучасних умовах трансформації транспортної галузі, зростання обсягів міжнародної торгівлі та ускладнення логістичних ланцюгів розвиток мультимодальних перевезень набуває стратегічного значення. Використання мультимодальних транспортних систем дозволяє поєднати переваги різних видів транспорту, забезпечити підвищення ефективності перевезень, зниження витрат і покращення якості логістичного сервісу. Особливу роль у таких системах відіграє залізничний транспорт, який забезпечує високу провізну спроможність, стабільність перевезень і є базовим елементом інтегрованих транспортно-логістичних рішень [1].

Методологічні основи організації та управління мультимодальними перевезеннями формуються на базі системного підходу, що передбачає розгляд транспортного процесу як складної динамічної системи, яка включає технічну, інфраструктурну, інформаційну та організаційну підсистеми. Аналіз існуючих підходів до визначення сутності мультимодальних перевезень свідчить про відсутність єдиного трактування цього поняття, що ускладнює формування універсальних моделей управління [2]. Узагальнення наукових джерел дозволяє визначити мультимодальні перевезення як організований процес доставки вантажів із використанням декількох видів транспорту за єдиним транспортним документом та під відповідальністю одного оператора. Дослідження показують, що ефективність мультимодальних перевезень значною мірою залежить від раціональної організації маршрутів, узгодженості графіків роботи різних видів транспорту, рівня розвитку термінальної інфраструктури та якості інформаційного забезпечення. Формування мультимодального маршруту є складним багатокритеріальним процесом, що передбачає вибір послідовності транспортних операцій, видів транспорту та логістичних вузлів з урахуванням обмежень часу, вартості, пропускної спроможності та доступності ресурсів [4]. При цьому складність системи зростає із збільшенням кількості залучених елементів транспортної мережі та учасників ринку транспортних послуг. Особливу увагу слід приділити ролі інформаційно-забезпечуючої підсистеми, яка забезпечує координацію дій учасників мультимодального перевезення, обмін даними щодо параметрів перевезення та оперативне реагування на відхилення від планових показників [3]. Недостатній рівень цифровізації та інтеграції

інформаційних систем призводить до зниження ефективності управління та збільшення ризиків порушення термінів доставки.

Аналіз статистичних даних щодо розвитку контейнерних перевезень свідчить про загальну тенденцію до їх зростання у довоєнний період, що підтверджує підвищення ролі мультимодальних технологій у транспортній системі. Водночас вплив зовнішніх факторів, зокрема військових дій, призвів до тимчасового скорочення обсягів перевезень, однак навіть за таких умов зберігається потенціал до їх подальшого відновлення та розвитку. Це свідчить про необхідність удосконалення методологічних підходів до організації мультимодальних перевезень з урахуванням факторів невизначеності та ризику.

Процес реалізації мультимодального маршруту обмежується часовими, ресурсними та інфраструктурними умовами, що визначаються вимогами замовника та можливостями транспортної системи [1]. При цьому забезпечується безперервність перевезення, вибір маршрутів, що з'єднують задані пункти транспортної мережі, а також наявність достатньої кількості ресурсів для транспортування вантажу в повному обсязі. У такій постановці задача вибору оптимального маршруту є задачею багатокритеріальної оптимізації, що враховує мінімізацію витрат і часу доставки, а також забезпечення надійності та стійкості логістичного процесу.

Формально задача може бути представлена у вигляді цільової функції:

$$\min Z = \alpha C + \beta T + \gamma R, \quad (1)$$

де:  $C$  – витрати на перевезення,

$T$  – час доставки,

$R$  – показник ризику або надійності, а  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  вагові коефіцієнти.

Такий підхід дозволяє врахувати не лише економічні показники, але й рівень стійкості мультимодального ланцюга постачання.

Таким чином, розвиток методологічних основ організації та управління мультимодальними перевезеннями за участю залізничного транспорту є необхідною умовою підвищення ефективності транспортної галузі. Впровадження системного підходу, використання математичних моделей оптимізації та розвиток цифрових технологій управління перевезеннями дозволяють забезпечити підвищення надійності, адаптивності та конкурентоспроможності мультимодальних логістичних систем [7]. Розвиток мультимодальних перевезень є ключовим напрямом підвищення ефективності транспортної системи, особливо за участю залізничного транспорту як базового елемента логістичної інфраструктури. Удосконалення методологічних основ організації та управління мультимодальними перевезеннями повинно базуватися на системному підході, інтеграції інформаційних технологій та використанні багатокритеріальних моделей оптимізації. Це дозволить підвищити стійкість логістичних ланцюгів, забезпечити ефективне використання ресурсів і адаптацію транспортних систем до сучасних викликів.

### **Література**

1. Т.В. Буцько, О.М. Костенніков, В.М. Прохоров, О.О. Шпатіна. Розробка автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень на основі

векторної оптимізації // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – 2019. – Вип. 188. – С. 71-85. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.188.2019.206202>.

2. Ломотько Д. В. Аналіз розвитку мультимодальних перевезень залізничним транспортом в Україні / Д. В. Ломотько, Г. О. Примаченко // Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – К.: НДКТІ, 2023. - №2/2023. – С. 15-30. DOI: 10.34029/2311-4061-2023-147-2-15-30.

3. Lomotko D.V., Prymachenko H.O., Kovalova O.V., Shkurenko O.V., Hryhorova Y.I. 2021 Use of modern logistics technologies in terms of saving resources, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1021(1), 012041.

4. Шраменко Н.Ю. Тенденції розвитку мультимодальних технологій при міжнародних контейнерних перевезеннях / Н.Ю. Шраменко // Науковий вісник НУБіП України. Серія: техніка та енергетика АПК: зб. наук. пр. — К., 2017. – Вип. 262. – С. 103-110.

5. Григорак М.Ю. Інтелектуалізація ринку логістичних послуг: концепція, методологія, компетентність: монографія / М.Ю. Григорак. – К.: Сік Груп Україна, 2017. – 513 с. 10. Brands T. Multi-objective optimization of multimodal transportation networks / T. Brands, E. Berkum // Proceedings of TRAIL Beta congress, 30-31st of October 2012, Rotterdam, the Netherlands. – Rotterdam: TRAIL, 2012. – Retrieved from: <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/5425116>.

6. Lomotko D.V., Prymachenko H.O., Hryhorova Y.I. 2019. The role of Ukrainian railway transport in modern logistic processes, Scientific journal "Science and progress of transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport", Dnipro: Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, №5 (83), p. 43-51. DOI: <https://doi.org/10.15802/tsp2019>.

УДК 658.7

## **РЕВЕРСИВНІ ЛОГІСТИЧНІ ПОТОКИ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ**

**Костюк Станіслав Юрійович**, асистент,

**Архипська Валерія Олександрівна**, студентка

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: [stanislavkostuk@nubip.edu.ua](mailto:stanislavkostuk@nubip.edu.ua)

Ще відносно недавно реверсивна логістика сприймалась як другорядний елемент транспортно-логістичних систем – щось, що існує «після доставки» і пов'язане переважно з поверненням товарів. У сучасних умовах реверсивна логістика стає повноцінною складовою ефективних транспортних технологій, а також одним із ключових інструментів переходу до циркулярної економіки. Основною причиною такого зсуву є стрімке зростання електронної комерції та зміна поведінки споживачів. За сучасними оцінками, у деяких секторах рівень повернень товарів досягає 20% і більше, що створює значне навантаження на транспортні системи та логістичну інфраструктуру. У таких умовах традиційні підходи до обробки повернень виявляються неефективними - вони призводять до збільшення витрат, втрати вартості продукції та зростання екологічного навантаження. Саме тому сучасні логістичні системи переходять до принципово нової моделі - інтегрованої реверсивної логістики, яка передбачає не просто

повернення товару, а прийняття оптимального рішення щодо його подальшої долі: повторний продаж, ремонт, відновлення або переробка. Важливу роль у цьому відіграють цифрові технології. Зокрема, використання штучного інтелекту дозволяє вже на першому етапі обробки визначити найбільш доцільний сценарій поводження з товаром, що значно скорочує час і витрати.

Ще одним важливим напрямом розвитку є автоматизація процесів сортування та переробки. Сучасні системи з використанням роботизованих комплексів і комп'ютерного зору дозволяють підвищити рівень відновлення матеріалів на 40-50% та суттєво знизити витрати на обробку повернень. Окрему увагу слід приділити розвитку переробки як складової реверсивної логістики. Сучасні тенденції показують, що країни та компанії активно інвестують у створення інфраструктури для переробки відходів і повторного використання матеріалів. У березні 2026 року японська торгова компанія Itochu Corporation оголосила про створення спільного підприємства з американською фірмою Electronic Recyclers International (ERI) для переробки електронних відходів у Японії. Такий підхід демонструє, що реверсивна логістика виходить за межі окремих компаній і стає частиною національних стратегій ресурсозбереження.

Розвиток законодавства значно прискорює впровадження реверсивних логістичних систем. Концепція розширеної відповідальності виробника (EPR) зобов'язує компанії відповідати за весь життєвий цикл продукції, включаючи її утилізацію та переробку. У країнах Європейського Союзу активно впроваджуються цифрові паспорти продукції, що забезпечують прозорість матеріалів і спрощують процеси збору та переробки. З економічної точки зору реверсивна логістика також перестає бути виключно витратною функцією. Навпаки, вона стає джерелом доданої вартості за рахунок розвитку вторинних ринків, повторного продажу та відновлення продукції.

### **Література**

1. Дунська А. Р. Особливості організації та управління реверсивною логістикою підприємства / А. Р. Дунська, Н. В. Шрамко // Підприємництво та інновації. – 2021. – № 20. – С. 44-51.

2. Кочешкова І. М. Реверсивна логістика промислових відходів / І. М. Кочешкова, Н. В. Трушкіна // Вісник економічної науки України. – 2018. – № 2. – С. 105-108.

УДК 656.025:656.08

## **БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ ЗА УМОВ ВІЙНИ: АНАЛІЗ РИЗИКІВ**

**Костюк Станіслав Юрійович**, асистент,

**Олійник Анастасія Сергіївна**, студентка

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: stanislavkostuk@nubip.edu.ua

Сучасні транспортно-логістичні системи в умовах воєнного часу зазнають суттєвих змін, пов'язаних з підвищеним рівнем невизначеності, руйнуванням інфраструктури та необхідністю оперативного реагування на зовнішні загрози. В

Україні, в умовах війни, що триває, забезпечення безпеки дорожнього руху та стійкості логістичних процесів набуває критичного значення. Особливу роль у цьому відіграє облік логістичних факторів та аналіз ризиків, що впливають на організацію автомобільних перевезень.

Військові дії значно впливають на функціонування транспортної інфраструктури, включаючи пошкодження автомобільних доріг, мостів, транспортних вузлів та логістичних центрів. Це призводить до необхідності перегляду традиційних маршрутів перевезень та пошуку альтернативних логістичних рішень. У таких умовах підвищується значення гнучкості транспортно-логістичних систем, здатних адаптуватися до умов, що змінюються, і забезпечувати безперервність перевезень. Одним із ключових аспектів забезпечення безпеки руху є оптимізація маршрутів з урахуванням поточної ситуації. Логістичні служби змушені враховувати не лише дорожню обстановку, а й фактори військової загрози, включаючи зони підвищеного ризику, обмеження руху та наявність блокпостів. Застосування сучасних цифрових технологій та систем моніторингу дозволяє оперативно отримувати інформацію про стан транспортної мережі та приймати обґрунтовані рішення щодо вибору безпечних маршрутів. До основних видів ризиків належать фізичні ризики (ушкодження транспортних засобів та вантажів), організаційні (збої у координації перевезень), економічні (зростання витрат) та інформаційні (нестача достовірних даних). Додатково виникають специфічні військові ризики, такі як загроза обстрілів, мінна небезпека та обмеження доступу до окремих територій. Істотне значення має підвищення рівня підготовки персоналу, задіяного у транспортно-логістичних процесах. Водії та логісти повинні мати навички роботи в умовах підвищеної небезпеки, вміти швидко реагувати на зміни ситуації та дотримуватися вимог безпеки. Організація інструктажів, розробка стандартів поведінки та використання систем оповіщення є важливими елементами забезпечення безпеки.

Невід'ємною частиною логістичного забезпечення є технічний стан транспортних засобів. В умовах підвищених навантажень та складних дорожніх умов зростає ймовірність технічних несправностей, що може призвести до аварійних ситуацій. Регулярне технічне обслуговування та діагностика транспорту дозволяють знизити дані ризики та підвищити надійність перевезень. Також, важливим напрямком є координація дій між різними учасниками транспортного процесу, включаючи державні органи, логістичні компанії та військові структури. Ефективна взаємодія дозволяє своєчасно обмінюватися інформацією, координувати маршрути та забезпечувати безпеку перевезень.

В умовах війни особливого значення набуває використання принципів сталої та адаптивної логістики. Це передбачає розробку резервних маршрутів, диверсифікацію транспортних потоків та впровадження гнучких схем доставки. Такі підходи дозволяють мінімізувати вплив ризиків та забезпечити стабільність логістичних процесів навіть за умов високої невизначеності. Комплексний аналіз ризиків, застосування сучасних технологій та розвиток адаптивних логістичних систем дозволяють підвищити рівень безпеки перевезень та забезпечити ефективне функціонування транспортної системи України у складних умовах.

## **Література**

1. Блинов, В., Череп, О. (2025). Логістика під час війни та проблеми з якими зтикаються перевізники. *Сталий розвиток економіки*, (1 (52), 204-209. <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-52-28>

УДК 656.025.4

## **СУЧАСНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ**

**Костюк Станіслав Юрійович**, асистент

**Розпутній Богдан Володимирович** студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: stanislavkostuk@nubip.edu.ua

Технологічний прогрес у сфері дорожнього транспорту та дорожньої інфраструктури створює потужний потенціал для зниження ризику дорожньо-транспортних пригод та, зрештою, порятунку життів. Сьогодні транспортна галузь розвивається неймовірно швидко. Ми бачимо, як цифровізація, автоматизація та нові технічні рішення змінюють звичні схеми перевезень. При цьому безпека перевезень залишається одним із найважливіших питань: від неї залежить не тільки збереження вантажу, а й життя людей, які беруть участь у транспортному процесі. І саме тут сучасні транспортні технології відіграють вирішальну роль.

Інтелектуальні транспортні системи вже не просто новинка - це робочий інструмент, який допомагає водіям та логістам приймати правильні рішення. З їхньою допомогою можна відстежувати стан доріг, контролювати трафік, прогнозувати потенційні затори та вибирати оптимальні маршрути. Наприклад, якщо на маршруті сталася пробка чи аварія, система миттєво запропонує альтернативу, що знижує ризик затримок та аварійних ситуацій. Прості GPS-пристрої вже давно переросли у складні платформи, які стежать не лише за місцем розташування, а й за станом автомобіля, швидкістю руху, часом роботи водія і навіть навантаженням на колеса. Ще один момент - автоматизація та цифровізація. Важко переоцінити, наскільки корисно мати програми, які можуть розрахувати оптимальний маршрут з урахуванням погодних умов, щільності трафіку та обмежень щодо вантажопідйомності. Це знижує навантаження на водія та зменшує ймовірність помилок. А коли додаються системи активної безпеки на транспортних засобах - автоматичне гальмування, контроль смуги руху, запобігання зіткненням - ймовірність аварій знижується ще сильніше. Однак важливо розуміти, що технології - це лише частина рішення. Людський фактор залишається критично важливим. Сучасні системи дають водіям можливість приймати правильні рішення швидше, але дисципліна, підготовка та уважність залишаються вирішальними. Логісти та водії, які вміють працювати з новими технологіями, розуміють, що кожна дрібниця впливає на безпеку: вчасно перевірений автомобіль, оптимальний маршрут, своєчасні дані про дорожню ситуацію - це складається в загальний рівень безпеки перевезень. Цифровізація

відкриває нові можливості для аналізу ризиків. За допомогою даних про минулі інциденти, пробки, погодні умови можна будувати прогнози та заздалегідь знижувати ймовірність проблем. Але разом з цим з'являються і нові виклики - кіберзагрози, збої в програмному забезпеченні, помилки при обробці даних. Все це вимагає уважного підходу та комплексного керування транспортною системою.

### **Література**

1. Pokusa M., Ohienko M., Zagurskiy O. et al., Logistics in conditions of uncertainty. Monograph. Opole: Academy of Applied Sciences Academy of Management and Administration in Opole, 2024, 290.

УДК 656.078

## **ПЕРСПЕКТИВА ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ У ПРИМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЛОСИПЕДНОГО РУХУ**

**Кушнір Дмитро Едуардович**, асистент

e-mail: krou.060999@gmail.com

**Павленко Олексій Вікторович**, к.т.н., доцент

e-mail: tprov@ukr.net

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Сучасні тенденції розвитку транспортних систем в світі свідчать про зростання ролі екологічно стійких, енергоефективних та екологічно чистих видів транспорту, особливо в приміських районах великих міст [1]. Умови України, що характеризуються інтенсивною міграцією населення, заторами на дорогах, нестачею паркувальних місць та зростаючим навантаженням на навколишнє середовище, актуалізують пошук нових моделей організації пасажирських перевезень. Одним із перспективних напрямків є інтеграція велосипедного транспорту в систему приміського громадського транспорту, що відповідає принципам сталого розвитку та інтермодальності [2].

Досвід Європейського Союзу демонструє високу ефективність поєднання велосипедного та інших видів транспорту у приміських і регіональних сполученнях [3]. Зокрема, дослідження Європейської федерації велосипедистів підтверджують, що розвиток велосипедної інфраструктури при залізничних станціях та можливість перевезення велосипедів у поїздах істотно підвищують доступність громадського транспорту та зменшують використання приватних автомобілів [4]. Аналогічні висновки отримані в наукових роботах, присвячених моделюванню інтеграції велосипеда та залізничного транспорту в Нідерландах, де зафіксовано зростання пасажиропотоку та підвищення транспортної доступності територій [5].

В Україні передумови для розвитку комбінованих перевезень із використанням велосипеда вже закладені у стратегічних документах та муніципальних програмах. Так, Концепція розвитку велосипедної інфраструктури міста Київ передбачає створення понад 1000 км велосипедних

маршрутів, у тому числі приміських, та інтеграцію велосипедного руху з метрополітенем і залізничним транспортом [6].

Харківська область має значний потенціал для розвитку велосипедної інфраструктури, що зумовлено високою щільністю міського населення, значною міграцією пасажирів та сприятливим рельєфом для велосипедного руху. Ключовим документом, що визначає перспективи розвитку, є Концепція розвитку велосипедного руху та облаштування велосипедної інфраструктури в місті Харкові, яка була представлена в 2025 році. Вона передбачає створення близько 757 кілометрів велосипедних маршрутів, інтегрованих у загальну транспортну систему міста, з урахуванням основних зон пасажиропотоку, житлових районів, промислових зон та транспортних вузлів [7].

Громадський транспорт та велосипеди є двома важливими компонентами сталої міської та приміської транспортних систем, а їх інтеграція збільшує їхній потенціал для зменшення використання автомобілів. Однак їх спільне використання має один суттєвий недолік, а саме перехід між двома видами транспорту. Цей додатковий крок створює відчуття незручності для потенційних мандрівників [8].

Розуміння факторів, що спричиняють незручності, дозволяє впроваджувати політику та заходи, що забезпечують ефективну інтеграцію та, як наслідок, ефективний перехід до більш сталих варіантів транспорту. В статті [8] досліджується вплив прийнятої незручності пересадки на вибір використання велосипеда як засобу доступу або виходу до зупинки громадського транспорту. Використовуючи дані з онлайн-анкети опитування в регіоні Нор-Йерен у Норвегії, було розроблено модель структурних рівнянь. Результати аналізу показали, що прийняття незручності пересадки відіграє суттєву роль у виборі поєднання велосипедів та громадського транспорту, оскільки воно може передбачити до 10 % дисперсії у виборі використання велосипедів.

В цьому контексті вивчається проблема побудови доступної та сталої мобільності населення міст та приміських громад для задоволення реальних потреб в переміщенні [9]. Крім того, одне з найперспективніших рішень, орієнтованих на мобільність, сьогодні обертається навколо концепції мобільності як послуги, яка проголошується «майбутнім міського та приміського транспорту», здатним зменшити кількість автомобілів та їх використання, сприяючи більш інтермодальним послугам. Пропонуються нові варіанти мобільності, які змінюють існуючі умови доступності, їх справедливий розподіл у різних районах та серед населення [9]. Це технологічне рішення для мобільності, яке значною мірою залежить від мультимодальної доступності та інтеграції. Результати в [9] вказують на підвищення територіальної доступності, особливо в периферійних районах.

Сучасні методи моделювання ефективної організації пасажирських перевезень мають комплексний характер та базуються на поєднанні класичних транспортних моделей, оптимізаційних методів та інтелектуальних алгоритмів [10]. Найбільш перспективним є інтегрований підхід, що поєднує мультимодальне планування, поведінкові моделі та машинне навчання, особливо в умовах розвитку велосипедної та приміської мобільності.

Таким чином, інтеграція громадського транспорту та велосипедного руху є ефективним інструментом формування стійкої міської та приміської мобільності. Водночас сприйняття незручності пересадок залишається ключовим обмежувальним фактором, що істотно впливає на вибір пасажирів та рівень попиту на мультимодальні перевезення. Дослідження підтверджують важливість кількісної оцінки якості послуг, оптимізації процесів пересадок та використання інтегрованих методів моделювання. Тому перспективним напрямком нашого дослідження є розробка моделі ефективної організації приміського пасажирського перевезення з використанням велосипедного транспорту, що підвищить транспортну доступність та привабливість громадського транспорту.

### **Література**

1. Qamruzzaman M. Unlocking the Nexus: Tourism, Clean Energy, Innovation, and Environmental Sustainability in the Top 20 Tourist Nations. *Sustainability Analytics and Modeling*. 2024. P. 100037
2. Solutions for Improving Transit through Intermodal Passenger Terminals / M. Roşca et al. *Procedia Manufacturing*. 2020. Vol. 46. P. 225–232.
3. Elvarsson A., Zani D., Adey B. T. Fast-lane for planning cycling infrastructure: On the effectiveness and efficiency of cycling infrastructure planning processes. *Journal of Cycling and Micromobility Research*, 2026. Vol. 7. P. 100103
4. ECF study on rail and cycling integration. URL: <https://transition-pathways.europa.eu/tourism/knowledge-documents/ecf-study-rail-and-cycling-integration> (дата звернення: 10.02.2026)
5. The bicycle-train travellers in the Netherlands: personal profiles and travel choices / Jonkeren, O. et al. *Transportation*. 2021. Vol. 48. P. 455–476.
6. Kyiv City Council approved the Cycling Concept. URL: [https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/news-events/news/kyiv-city-council-approved-cycling-concept-2018-02-21\\_en?utm\\_source=chatgpt.com](https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/news-events/news/kyiv-city-council-approved-cycling-concept-2018-02-21_en?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 10.02.2026).
7. У Харкові візьмуться за облаштування велосипедної інфраструктури. URL: [https://cfts.org.ua/news/2025/01/21/u\\_kharkovi\\_vizmutsya\\_za\\_oblashtuvannya\\_velosipedno\\_infrastrukturi\\_81715?utm\\_source=chatgpt.com](https://cfts.org.ua/news/2025/01/21/u_kharkovi_vizmutsya_za_oblashtuvannya_velosipedno_infrastrukturi_81715?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 10.02.2026).
8. Kosmidis I., Müller-Eie D. Measuring perceived transfer inconvenience for multimodal commute trips combining bicycles and public transport. *Travel Behaviour and Society*. 2026. Vol. 43. P. 101167.
9. Lopes A., Moura F., Vale D. The effects of bike-sharing-transit integration on accessibility equity. *Journal of Transport Geography*. 2025. Vol. 128. P. 104344.
10. Multimodal Transport Optimization from Doorstep to Airport Using Mixed-Integer Linear Programming and Dynamic Programming / E. D. Spyrou et al. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, no. 17. P. 7937.

УДК 656:504

## ЗЕЛЕНА ЛОГІСТИКА ЯК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Лемішко Дар'я Сергіївна, асистентка

Національний університет біоресурсів і природокористування України

e-mail: lemishko.dasha@nubip.edu.ua

В сучасних умовах розвитку транспортної галузі особлива увага приділяється питанням екологічної стійкості та зниження негативного впливу на довкілля. Зростання обсягів вантажоперевезень, зумовлене глобалізацією економіки та збільшенням споживчого попиту, призводить до значного збільшення викидів забруднюючих речовин та парникових газів. У зв'язку з цим концепція «зеленої логістики» набуває все більшої актуальності і стає важливим фактором при виборі транспортних засобів у логістичних системах.

Зелена логістика (*green logistics*) - це система заходів, спрямованих на мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище. Вона охоплює всі етапи ланцюжка постачання: від виробництва товарів і їх пакування до транспортування та управління відходами. Одним із ключових елементів даної концепції є вибір транспортних засобів, що надають мінімальний вплив на навколишнє середовище. У рамках зеленої логістики особливого значення набуває перехід на альтернативні види палива та розвиток електричного транспорту. Електромобілі та гібридні транспортні засоби характеризуються нижчим рівнем викидів шкідливих речовин у порівнянні з традиційними автомобілями, що працюють на викопному паливі. Це робить їх кращим вибором для логістичних компаній, які прагнуть скоротити свій вуглецевий слід та відповідати сучасним екологічним стандартам.

Крім того, при виборі транспортних засобів враховується показник енергоефективності, який відображає співвідношення витрат енергії та виконаної транспортної роботи. Використання більш економічних транспортних засобів дозволяє як знизити експлуатаційні витрати, а й зменшити негативний вплив на довкілля. Важливим аспектом є рівень завантаження транспортних засобів, оскільки оптимізація використання вантажопідйомності сприяє зниженню кількості рейсів і, відповідно, зменшенню викидів. Також слід зазначити значення розвитку мультимодальних перевезень, за яких використовуються різні види транспорту з метою досягнення найкращих екологічних та економічних показників. У ряді випадків комбінування автомобільного транспорту із залізничним або водним дозволяє значно знизити навантаження на навколишнє середовище та підвищити ефективність логістичних процесів.

Незважаючи на очевидні переваги зеленої логістики, її впровадження пов'язане з певними труднощами, включаючи високу вартість екологічно чистих транспортних засобів, недостатній розвиток інфраструктури та необхідність зміни існуючих логістичних схем. Однак у довгостроковій перспективі дані

інвестиції виправдовуються за рахунок зниження експлуатаційних витрат та підвищення екологічної відповідальності бізнесу.

### **Література**

1. Майбутнє мультимодальних перевезень 2026: тренди та розвиток ринку [Електронний ресурс]. - Ekol Ukraine. - Режим доступу: <https://ekol.com.ua/majbutnye-mulbtymodalbnyh-perevezenb-2026-trendy-ta-rozvytok-rynku/>

2. Zagurskiy O., Rogach S., Titova L., Rogovskii I., Pokusa T. «Green» supply chain as a path to sustainable development // Mechanisms of stimulation of socio-economic development of regions in conditions of transformation. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2019. 199-213.

3. Zagurskiy O., Savchenko L., Makhmudov I., Matsiuk V. Assessment of socio-ecological efficiency of transport and logistics activity. Proceedings of 21st International Scientific Conference Engineering for Rural Development 25-27.05.2022 Jelgava, LATVIA. 543-550.

УДК 65.012.122

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ**

**Лемішко Дар'я Сергіївна**, асистентка,

**Майорова Аліса Олександрівна**, студентка

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: lemishko.dasha@nubip.edu.ua

Сучасні транспортні системи - це складні, багаторівневі структури. Їхня робота залежить від обробки великих обсягів даних та прийняття ефективних управлінських рішень. У цьому контексті застосування методів дослідження дій для оптимізації транспортних процесів та вдосконалення логістичних систем є надзвичайно важливим. Дослідження операцій - це науковий напрям, що ґрунтується на використанні математичних моделей, методів оптимізації та алгоритмів прийняття рішень для вирішення складних організаційно-технічних завдань. У транспортній сфері ці методи знаходять широке застосування при плануванні перевезень, управлінні транспортними потоками, розподілі ресурсів та розробці ефективних маршрутів руху.

Одним із ключових завдань дослідження операцій у транспорті є оптимізація маршрутів транспортних засобів. Це передбачає визначення оптимального маршруту з урахуванням різних обмежень, таких як пропускна здатність дороги, терміни доставки, вантажопідйомність транспортних засобів та інші фактори. Вирішення цієї проблеми може значно знизити транспортні витрати та терміни доставки, а також покращити якість обслуговування клієнтів.

Значний акцент робиться на методах теорії масового обслуговування, які використовуються для аналізу роботи транспортних вузлів, транзитних станцій та складів. Ці методи дозволяють оцінювати навантаження системи, визначати оптимальну кількість сервісних пристроїв та мінімізувати час очікування - що

особливо важливо для великих транспортно-логістичних центрів, де затримки можуть призвести до значних економічних втрат. Сучасні транспортні системи також широко використовують імітаційні моделі, які дозволяють моделювати реальні процеси та оцінювати наслідки управлінських рішень без порушення роботи операційної системи. Ці моделі дозволяють враховувати невизначеність та випадкові фактори, що робить їх потужними інструментами для аналізу та планування. Дослідження операцій залишається вирішальним інструментом для оптимізації транспортних систем. Його застосування дозволяє вдосконалювати транспортні процеси, раціонально використовувати ресурси та приймати обґрунтовані управлінські рішення, що особливо важливо в контексті зростаючого попиту на високоякісні транспортні послуги.

### **Література**

1. Крамаренко, І. С. Транспортна логістика : навч. посібник / І. С. Крамаренко, І. І. Надточій, Є. Ю. Маркова. - Миколаїв : Іліон, 2024. - 240 с.
2. Козаченко, Д. М. Основи дослідження операцій у транспортних системах: приклади та задачі : навч. посіб. для ВНЗ / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкін ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2015. - 277 с.

УДК 656.96

## **СТАН ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ ТА РОЛЬ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ВІЙНИ**

**Мацюк Надія Олексіївна**, асистентка

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
n.matsiuk@nubip.edu.ua

В умовах повномасштабної війни транспортно-логістична система України перебуває у стані підвищеної нестабільності, що суттєво впливає на функціонування економіки. Транспортна галузь формує близько 4–6% ВВП, тоді як у країнах Європи цей показник сягає 11%, що підкреслює її стратегічну важливість. Значних руйнувань зазнала логістична інфраструктура: у 2022 році було знищено близько 40% площ розподільчих центрів, зокрема об'єкти великих компаній у Харківській, Миколаївській та Київській областях. Негативна динаміка зберігається і надалі, що ускладнює забезпечення стабільних логістичних процесів [1].

До війни вагому роль у перевезеннях відігравали морський та залізничний транспорт, однак їх часткова блокада спричинила різке зростання значення автомобільних перевезень. Частка автомобільного транспорту у міжнародній логістиці зростає з 48% до майже 70%, що призвело до перевантаження дорожньої інфраструктури, утворення черг на кордонах та збільшення логістичних витрат. Автомобільний транспорт став ключовою ланкою забезпечення аграрних і промислових поставок, проте його ефективність обмежується низкою системних проблем [1], [2].

Серед основних викликів варто виділити дефіцит сучасних логістичних потужностей (особливо «холодних» та автоматизованих складів), затримки митного оформлення, підвищені ризики обстрілів у прифронтових регіонах, а також зростання витрат на паливо та обслуговування. Додатково, загальний рівень забезпеченості складськими площами в Україні залишається критично низьким — у десятки разів меншим, ніж у сусідніх країнах ЄС, що негативно впливає на стійкість логістичних ланцюгів та вантажообіг.

Попри зазначені труднощі, галузь демонструє високу адаптивність. Частина підприємств здійснила релокацію потужностей у західні регіони, а станом на 2025 рік відновлено близько 30% логістичних площ. Важливу роль у цьому відіграли дотації ЄС та інвестиції приватного сектору. Паралельно відбувається активне впровадження цифрових технологій, зокрема рішень на основі штучного інтелекту, що дозволяє оптимізувати маршрути, підвищувати ефективність управління перевезеннями та зменшувати ризики розриву логістичних ланцюгів [1], [3].

Сучасний етап розвитку транспортно-логістичної системи України характеризується формуванням нових підходів до її організації, зокрема створенням захищених логістичних центрів із резервними системами, розвитком гнучких автомобільних маршрутів та цифровізацією документообігу. Таким чином, Україна не лише забезпечує функціонування власної економіки в умовах війни, але й формує унікальний практичний досвід підвищення стійкості логістичних систем, що має важливе значення на міжнародному рівні.

#### **Література**

1. Ukraine: share of GDP by sector 2021 | Statista.” Accessed: Apr. 09, 2026. [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20240519151733/https://www.statista.com/statistics/1322567/ukraine-share-of-gdp-by-sector/>
2. Інфраструктура, транспорт і логістика в Україні | DLF attorneys-at-law. Accessed: Apr. 09, 2026. [Online]. Available: [https://dlf.ua/ua/infrastruktura-transport-i-logistika-v-ukrayini/?utm\\_source=chatgpt.com](https://dlf.ua/ua/infrastruktura-transport-i-logistika-v-ukrayini/?utm_source=chatgpt.com)
3. Логістика у світі та в Україні: як працює система постачань. Accessed: Apr. 09, 2026. [Online]. Available: [https://bizmag.com.ua/logistyka/?utm\\_source=chatgpt.com](https://bizmag.com.ua/logistyka/?utm_source=chatgpt.com)

УДК 656.073

### **ДОСВІД КОНТРЕЙЛЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ**

**Сушко Станіслав Валерійович**, аспірант

e-mail: [s.w.sushko@gmail.com](mailto:s.w.sushko@gmail.com)

**Назаров Олексій Анатолійович**

e-mail: [o.a.nazarov@ust.edu.ua](mailto:o.a.nazarov@ust.edu.ua)

*Український державний університет науки і технологій*

Контрейлерні перевезення в сучасному світі є дуже популярним та поширеним способом доставки вантажів, який дозволяє поєднати переваги

автомобільного та залізничного транспорту. Суть контрейлерних перевезень полягає в тому, що автомобільний транспортний засіб завантажується в спеціальний залізничний вагон та в ньому перевозиться на доволі значну відстань.

Плюси саме контрейлерних перевезень є доволі очевидними. Так перевезення вантажівкою на маршруті Люксембург – Перпінньяан займає 17-22 години, в той самий час як перевезення в контрейлерному сполученні – близько 14,5 год [1].

Тобто, контрейлерні перевезення дозволяють:

1. в повному обсязі реалізувати переваги перевезень залізничним транспортом, а саме – забезпечити швидке, заощадливе та екологічне перевезення вантажів на далекі відстані;

2. в повному обсязі реалізувати переваги перевезень автомобільним транспортом, а саме – забезпечити доставку вантажу «від дверей до дверей».

З іншого боку, виконання контрейлерних перевезень вимагає наявності відповідної інфраструктури, яка дозволяє здійснювати навантажувально-розвантажувальні операції з автопоїздами.

Варто відзначити, що найбільш поширеними контрейлерні перевезення є в США, Німеччині, Франції та Швеції [2]. В Україні найбільшим оператором контрейлерних перевезень є Філія «Центр транспортного сервісу «Ліски» Акціонерного товариства «Укрзалізниця», яка володіє необхідною транспортною інфраструктурою, сучасним технічним обладнанням: навантажувально-розвантажувальними механізмами, кранами; парком рухомого складу: фітинговими та спеціалізованими платформами для контрейлерних перевезень, вагонами-автомобілевозами для перевезення легкових автомобілів, тягачами та великотоннажними контейнерами.

Підприємство організує контрейлерні перевезення як у внутрішньому так і у міжнародному сполученні. Хоча здійснення міжнародних контрейлерних перевезень заважає різна ширина колії, у порівнянні з більшістю європейських країн [3].

Разом з тим, наукові дослідження підтверджують перспективність розвитку контрейлерних перевезень, а також свідчать про наявність потенціалу для їх розвитку в Україні [4].

Важливість розвитку контрейлерних перевезень в Україні підкреслюється і Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року, яка відносить стимулювання розвитку контрейлерних перевезень до одного з основних завдань, спрямованих на відновлення та розвиток конкурентоспроможної та ефективної транспортної системи, інтегрованої в транс'європейську транспортну мережу, відповідно до політики та стандартів ЄС [5].

Акціонерне товариство «Укрзалізниця» намагається впроваджувати та збільшувати обсяг контрейлерних перевезень. Так, Укрзалізниця використовувала контрейлерні поїзди у 2023 році з метою забезпечення руху вантажних автомобілів через кордон з Польщею, коли він був заблокований

через протести [6]. На початку 2026 року Укрзалізниця розпочала контрейлерні перевезення з Угорщиною [7].

Разом з тим варто розуміти, що використання контрейлерних перевезень має бути гарно організовано. Так, у дослідженні [4] було встановлено наявність певних негативних сторін у контрейлерних перевезеннях, до яких відносяться доволі слабка інфраструктура, відсутність значного обсягу спеціалізованого рухомого складу, слабка державна підтримка та слабкий маркетинг контрейлерних перевезень з боку Укрзалізниці.

Тобто не дивлячись на спроби налагодити контрейлерні перевезення, Україна має певні об'єктивні проблеми, які пов'язані здебільшого з застарілою залізничною інфраструктурою, що в свою чергу сповільнює розвиток контрейлерних перевезень.

Отже, контрейлерні перевезення є доволі популярними в світі, а їх розвиток в Україні законодавчо внормований, та відповідає Національній транспортній стратегії України. АТ «Укрзалізниця» системно намагається збільшити обсяг контрейлерних перевезень, та відкриває нові маршрути контрейлерних перевезень, гнучко враховуючи при цьому виклики сучасності. Разом з тим, сучасна інфраструктура залізниці, спрямована на здійснення контрейлерних перевезень вимагає розвитку та модернізації, яка включає в себе у тому числі державну підтримку.

### Література

1. Шкуро С. Мандруючи Магістралями: Що таке Контрейлерні Перевезення?. Searates. URL: <https://www.searates.com/ua/blog/post/mandruyuchi-magstralyami-shcho-take-kontreilern-perevezennya>.
2. Петренко О. Підходи до визначення сутності контрейлерних перевезень. Загальнотранспортні проблеми. 2020. № 47. URL: <https://em.duit.in.ua/index.php/home/article/view/28/30>.
3. Курган М. Досвід експлуатації контрейлерних поїздів у внутрішньому та міжнародному сполученні. Логістика та перевезення. URL: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/8b31fe23-0d58-4da3-9818-84ae77990978/content>.
4. Вернигора Р. В., Журавель І. Л., Єльнікова Л. О. Дослідження ефективності затосування контрейлерної технології перевезень вантажів в Україні. Транспортні системи та технології перевезень. 2021. № 22. URL: <https://tsst.ust.edu.ua/article/view/247884/246767>.
5. Постанова Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2024 року № 1550 "Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-p#Text>.
6. Україна знайшла спосіб обійти блокаду вантажівок в Польщі - BBC News Україна. BBC News Україна. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/articles/cw02zyzp4k1o>.
7. «Укрзалізниця» уперше відправила контрейлерний поїзд до Угорщини - AgroTimes. AgroTimes. URL: <https://agrotimes.ua/elevator/ukrzaliznyczya-upershe-vidpravyla-kontrejlernyj-poyezd-do-ugorshhyny/>.

УДК 656.078:656.073:656.615

## **ТЕХНОЛОГІЯ РОБОТИ СУХИХ ПОРТІВ В СТРУКТУРІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**Ушаков Андрій Миколайович**, аспірант  
**Баркалова Наталія Олександрівна**, к.т.н., доцент,  
*Український державний університет науки і технологій*  
e-mail: n.o.lohvinova@ust.edu.ua

Зростання обсягів міжнародної торгівлі, посилення безпекових викликів воєнного, кліматичного та технологічного характеру, інтеграція України до регіональних та глобальних ланцюгів постачання, а також зростаючий попит на логістичні послуги у внутрішніх регіонах на тлі обмеженої пропускнуої спроможності традиційної портової інфраструктури зумовлюють необхідність розвитку нових інфраструктурних рішень.

Компонентами цієї системи виступають внутрішні логістичні вузли так звані «сухі порти» [1]. Розвиток «сухих портів» в Україні є важливим елементом стратегії удосконалення національної транспортної та митної інфраструктури, що дозволяє зменшити навантаження на традиційні морські порти та забезпечити більш раціональне управління логістичними потоками.

Такі об'єкти сприяють налагодженню взаємозв'язку між водними та сухопутними маршрутами, що, у свою чергу, дозволяє краще організовувати вантажоперевезення і зменшувати витрати на логістику. Така допоміжна інфраструктура забезпечує перевантаження, зберігання та митне оформлення товарів на віддаленні від пунктів пропуску через митний кордон, оптимізує товарні (вантажні) потоки та зменшує навантаження на традиційні прикордонні сервіси за місцем їх основного розташування.

З огляду на транзитний потенціал України, «сухі порти» здатні відігравати важливу роль у розширенні номенклатури послуг та пришвидшенні логістичних процедур, пов'язаних із мультимодальними перевезеннями.

У керівництві UNCTAD з управління та експлуатації сухих портів 1991 р. [2] відзначається, що концепція «сухих портів» набула широкого поширення у зв'язку з контейнеризацією. «Сухі порти» можуть бути внутрішніми терміналами у країні, яка має порт-шлюз, або вони можуть бути розташовані у сусідніх країнах, що не мають виходу до моря, на території одного або кількох морських портів. «Сухий порт» (або «внутрішнє митне депо») визначається також як «об'єкт спільного користування зі статусом державного органу, оснащений стаціонарними установками, що пропонує послуги з обробки і тимчасового зберігання будь-яких видів товарів (включаючи контейнери), які перевозяться у режимі транзиту будь-яким відповідним видом транспорту, перебувають під митним контролем, в яких розташовані підрозділи митних та інших органів, уповноважених на здійснення митного оформлення товарів для внутрішнього споживання, складування, тимчасового ввезення, реекспорту, тимчасового зберігання для подальшого транзиту та прямого експорту.

Таким чином, «сухий порт» являє собою мультимодальний логістичний центр із розвинутою інфраструктурою, що надає вантажовласникам можливість користуватися перевагами морського порту, не перебуваючи безпосередньо на його території. Такий центр функціонує як інтегрований складник ланцюга постачання, забезпечуючи обробку, зберігання та оформлення вантажів віддалено від припортових зон. Однією з ключових переваг «сухих портів» є зниження загальних логістичних витрат, зокрема при переміщенні вантажів від пунктів перетину державного кордону до кінцевих місць призначення у межах країни. З цією метою «сухі порти» зазвичай поєднують можливості автотранспорту на коротких або середніх відстанях із залізничним сполученням для перевезень на далекі відстані, зокрема до морських портів.

В умовах воєнного стану та під час повоєнного відновлення України розвиток «сухих портів» можуть відіграти важливу роль у стабілізації логістичних процесів і сприяти поступовому їх поверненню до звичного ритму.

#### **Література**

1. Качан В.В. «Сухі порти» в Україні: правовий базис та митні формальності. *Право і суспільство*. 2025. № 3. С. 180–184.
2. UNCTAD Handbook on the Management and Operation of Dry Ports, 1991. URL: <https://surl.li/srrmdo> (дата звернення: 24.05.2025 р.).

УДК 656.073.28:629.083(100)

### **ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЖНАРОДНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ПРИКЛАДІ ЛОГІСТИЧНОЇ КОМПАНІ ТОВ «ОУШН БРІДЖ»**

**Бугаєнко Євгеній Олександрович**, студент<sup>1</sup>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
zbugaenko736@gmail.com

Транспортне забезпечення міжнародних перевезень відіграє визначальну роль у функціонуванні сучасних логістичних систем, оскільки саме від його організації залежить ефективність переміщення товарів між країнами. У практиці міжнародної логістики транспорт виступає не лише технічним елементом процесу доставки, а й важливим фактором, що впливає на терміни, витрати та надійність виконання перевезень .

Організація транспортного забезпечення передбачає прийняття комплексу рішень, які стосуються вибору виду транспорту, визначення маршруту та узгодження дій усіх учасників перевізного процесу. На практиці ці рішення не є універсальними і щоразу формуються з урахуванням конкретних умов перевезення. Зокрема, враховуються характеристики вантажу, обсяги поставок, відстань транспортування, вимоги до строків доставки, а також стан транспортної інфраструктури та особливості проходження кордонів .

---

<sup>1</sup> Науковий керівник – Опалко В.Г., к.т.н., доцент

Саме поєднання цих чинників визначає доцільність використання того чи іншого виду транспорту. Наприклад, для перевезення масових вантажів на значні відстані частіше застосовують морський або залізничний транспорт, тоді як автомобільні перевезення забезпечують більшу гнучкість і дозволяють організувати доставку без перевантажень. Авіаційний транспорт, хоча і є найдорожчим, залишається незамінним у випадках, коли вирішальним є фактор часу.

У сучасних умовах усе більшого поширення набуває використання мультимодальних перевезень. Їх сутність полягає у комбінуванні різних видів транспорту в межах одного логістичного ланцюга. Такий підхід дозволяє більш гнучко будувати маршрути, зменшувати витрати та підвищувати ефективність використання транспортної інфраструктури. Водночас мультимодальні перевезення потребують більш високого рівня координації та інформаційного супроводу.

Сучасний стан транспортної системи України характеризується суттєвими змінами, які безпосередньо впливають на організацію міжнародних перевезень. Спостерігається активне зростання ролі контейнерних перевезень, що поступово стають базовим елементом логістичних ланцюгів. Одночасно відбувається переорієнтація транспортних потоків у напрямку країн Європейського Союзу, розвиваються сухопутні коридори та впроваджуються цифрові рішення для управління перевезеннями.

Разом із позитивними змінами залишаються й проблемні питання, що ускладнюють розвиток галузі. Серед них можна відзначити недостатній рівень розвитку транспортно-логістичної інфраструктури, обмежену пропускну спроможність пунктів пропуску через державний кордон, складність митних процедур та недостатній обсяг інвестицій у транспортний сектор. Ці фактори впливають на швидкість і вартість перевезень, а отже — на конкурентоспроможність українських логістичних послуг.

Практичний інтерес становить діяльність логістичної компанії ТОВ «ОУШН БРІДЖ», яка здійснює організацію міжнародних перевезень і надає комплексні логістичні послуги. Підприємство працює за принципом повного супроводу вантажу, охоплюючи етапи планування, транспортування, митного оформлення та складської обробки. У своїй діяльності компанія активно використовує мультимодальні схеми перевезень, що дозволяє адаптувати маршрути до конкретних умов і потреб клієнтів.

Обсяги перевезень підприємства становлять у середньому 700–750 тонн на місяць, що включає як повноконтейнерні, так і збірні вантажі. Географія співпраці охоплює понад 27 країн, що свідчить про стабільну інтеграцію компанії у міжнародні логістичні ланцюги. Використання сучасних інформаційних систем забезпечує можливість контролю перевезень у режимі реального часу та підвищує прозорість логістичних процесів.

Таким чином, транспортне забезпечення міжнародних перевезень потребує комплексного підходу, який поєднує вибір ефективних транспортних рішень, організацію логістичних процесів та використання сучасних технологій управління. Практика діяльності логістичних компаній свідчить про те, що

ключовими напрямками підвищення ефективності є розвиток мультимодальних перевезень, цифровізація процесів і адаптація до змін у міжнародному транспортному середовищі.

### Література

1. Ковальова М. Л. Транспортне забезпечення зовнішньоторговельних операцій: принципи та критерії вибору. Економіка та суспільство. 2022. № 38. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1307/1261>
2. Тренди контейнерних перевезень по Європі та Україні у 2025 році. GoodWayTrans. URL: <https://goodwaytrans.com.ua/news/trendy-kontejnernyh-perevezhen-po-yevropi-ta-ukrayini-u-2025-roczii/>
3. Морські контейнерні перевезення в Україні у 2025 році. USM. URL: <https://usm.media/morski-konteinerni-perevezennya-v-ukrayini-u-2025-roci/>

УДК 656.073:339.564:633.1(477)

## ОСОБЛИВОСТІ ЛОГІСТИКИ ЕКСПОРТУ ЗЕРНА УКРАЇНИ В УМОВАХ ВІЙНИ

Вакуленко Ярослава Євгенівна, студентка<sup>2</sup>

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
tt25-ya.vakulenko@nubip.edu.ua

Україна традиційно належить до провідних аграрних держав світу і щорічно виробляє значні обсяги зернових культур. У сучасних умовах експорт зерна має особливе значення, оскільки він є одним із ключових джерел валютних надходжень і водночас впливає на економічну стійкість країни.

Крім того, стабільний експорт сприяє підтримці аграрного сектору та забезпечує присутність України на світовому ринку продовольства. Саме тому ефективна організація логістики експорту набуває стратегічного значення.

Після початку повномасштабної війни система експорту зерна суттєво ускладнилася. Замість відносно стабільних морських перевезень сформувалася багатоваріантна логістика, що поєднує морські маршрути, Дунайський напрямок, залізничний і автомобільний транспорт. Такий підхід є вимушеним і пов'язаний із постійними ризиками, змінами маршрутів і зростанням витрат.

Таблиця 1 Динаміка обсягів експорту зерна з України (2022–2025 рр.)

Рік	Експорт зерна, млн. т	Основні фактори впливу на експорт
2022	38	Блокування портів, порушення логістики
2023	49	Часткове відновлення морського експорту
2024	51	Розвиток Дунайських портів та сухопутних коридорів
2025	52	Стабілізація логістичних маршрутів

Важливою особливістю стало те, що Україна була змушена швидко переорієнтувати логістичні потоки. Значну роль у цьому відіграли міжнародні партнери. Зокрема, European Commission ініціювала створення «солідарних

<sup>2</sup> Науковий керівник – Опалко В.Г., к.т.н., доцент

коридорів», які дозволили частково компенсувати обмеження традиційних морських шляхів.

У результаті сформувалася нова структура перевезень:

- приблизно 60 % припадає на морський коридор через Чорне море;
- близько 25 % — на Дунайські порти;
- близько 15 % — на сухопутні маршрути через країни ЄС.

Водночас логістика залишається нестабільною. У разі ускладнення роботи великих портів застосовуються альтернативні схеми перевезень, наприклад: автомобільний транспорт → залізничний → річковий → морський. Це дозволяє гнучко реагувати на зміну умов, хоча і збільшує витрати.

Перевезення зерна до портів (Одеського регіону та Дунайського напрямку) здійснюють різні категорії перевізників: агрохолдинги, логістичні оператори та спеціалізовані транспортні компанії. Серед них важливу роль відіграє компанія НІБУЛОН, яка має власну комплексну логістичну систему.

Її діяльність базується на поєднанні кількох видів транспорту, що фактично формує інтермодальну модель перевезень. Компанія використовує власний флот, елеваторну інфраструктуру, автомобільний та залізничний транспорт, що дозволяє забезпечити відносно стабільний процес доставки зерна.

Зокрема, автомобільний парк налічує 142 вантажівки, які використовуються для підвезення зерна до елеваторів і портових терміналів. Залізничний транспорт (2 локомотиви та 212 вагонів) виконує допоміжну функцію, забезпечуючи перевезення між регіонами та логістичними вузлами.

Як приклад можна розглянути перевезення зерна з Білої Церкви до чорноморських портів. У випадку великих обсягів перевезення доцільно використовувати залізничний транспорт, що дозволяє зменшити витрати та оптимізувати процес доставки.



Рис. 1. Маршрут перевезення.

Загалом логістичний ланцюг експорту зерна в умовах війни має кілька послідовних етапів. Спочатку зерно транспортується від місця збору врожаю до елеваторів, де проходить первинну обробку. Далі воно доставляється до портів або прикордонних терміналів. На завершальному етапі здійснюється експорт морським або сухопутним транспортом до країн-імпортерів.

У портах виконуються операції перевантаження, митного оформлення, фітосанітарного контролю та підготовки супровідних документів.

Окремо слід відзначити зростання логістичних витрат. Воно пов'язане не лише зі збільшенням довжини маршрутів, а й із необхідністю додаткових заходів безпеки, перевантаженням на кордонах і підвищенням вартості страхування. У деяких випадках логістика займає значну частку в кінцевій вартості зерна.

Таким чином, навіть в умовах війни Україна змогла зберегти експорт зерна завдяки швидкій адаптації логістичних рішень. Подальший розвиток інфраструктури та співпраця з міжнародними партнерами залишаються ключовими факторами стабільності цієї системи.

### **Література**

1. Експорт з України зернових, зернобобових та борошна. Міністерство аграрної політики та продовольства України. URL: <https://minagro.gov.ua/napryamki/eksport-do-krain-ies/eksport-z-ukrayini-zernovih-zernobobovih-ta-boroshna>

2. European Commission to establish Solidarity Lanes to help Ukraine export agricultural goods. European Commission. URL: [https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/european-commission-establish-solidarity-lanes-help-ukraine-export-agricultural-goods-2022-05-12\\_en](https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/european-commission-establish-solidarity-lanes-help-ukraine-export-agricultural-goods-2022-05-12_en)

3. Yanovska V., Król M., Pittman, R. The logistics of grain exports from wartime Ukraine: What are the highest priority areas to Address? *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2025. Vol. 30. P. 101363. URL <http://doi.org/10.1016/j.trip.2025.101363>.

4. Огляд ринку зернових культур в Україні. Поточний стан і перспективи галузі в контексті глобальних трендів. 2025. URL: [https://media-eur.gwt.bdo.global/cmslibrary/Ukraine/media/bdo/Insight%20promos/Insights/New%20from%20August%202023/Grain-Market-in-Ukraine-2025\\_ukrainian.pdf](https://media-eur.gwt.bdo.global/cmslibrary/Ukraine/media/bdo/Insight%20promos/Insights/New%20from%20August%202023/Grain-Market-in-Ukraine-2025_ukrainian.pdf)

УДК 656.1

## **ТРАНСФОРМАЦІЯ ЛОГІСТИКИ ДОСТАВКИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ**

**Дудка Карина Євгенівна**, студентка  
e-mail: karina.dudka3001@gmail.com

**Птиця Наталія Василівна**, к.т.н., доцент,  
e-mail: nataliya.ptitsa@gmail.com

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

У сучасних умовах трансформації економіки України система доставки готової продукції перестає бути лише завершальним етапом логістичного

процесу і набуває стратегічного значення для забезпечення конкурентоспроможності підприємств. Саме на стадії доставки формується кінцеве враження споживача про якість обслуговування, що безпосередньо впливає на рівень лояльності клієнтів і позиції компанії на ринку. У цьому контексті логістична система розглядається як цілісний комплекс взаємопов'язаних елементів, що забезпечують ефективне управління матеріальними, інформаційними та фінансовими потоками з метою максимально повного задоволення попиту.

Доставка готової продукції виступає ключовою підсистемою логістики, яка охоплює процеси планування, організації та контролю транспортування товарів від виробника до кінцевого споживача. Раціонально побудована система доставки дозволяє скоротити тривалість обігу товарів, забезпечити стабільність постачань та оптимізувати витрати, що є особливо актуальним в умовах нестабільного ринку та підвищених ризиків. З огляду на зростаючу конкуренцію та глобалізацію ланцюгів постачання, удосконалення процесів доставки стає одним із пріоритетних напрямів розвитку логістичних систем, що передбачає поєднання класичних організаційно-технічних рішень із сучасними інноваційними підходами [1].

Одним із базових інструментів підвищення ефективності доставки є маршрутизація та оптимізація транспортних схем. У сучасній практиці ці завдання вирішуються шляхом моделювання транспортних мереж із використанням математичних методів, зокрема теорії графів. Особливе значення має розв'язання задач оптимального маршруту, що дозволяє визначити найкоротші або найменш витратні шляхи перевезення [2–4]. Процес маршрутизації включає формування транспортної мережі, визначення критеріїв оптимальності та застосування алгоритмів оптимізації, таких як метод найближчого сусіда, побудова мінімального остовного дерева, метод імітації відпалу чи підхід гілок і меж. Використання цих інструментів забезпечує зниження витрат на транспортування, скорочення часу доставки та підвищення надійності логістичних операцій.

Не менш важливим аспектом є обґрунтований вибір транспортних засобів і технічного обладнання. Раціональне формування автопарку базується на аналізі техніко-економічних показників, таких як паливна ефективність, вантажопідйомність, зносостійкість і витрати на обслуговування [1, 4]. Оптимізація структури транспортних ресурсів дозволяє не лише знизити експлуатаційні витрати, але й підвищити якість обслуговування та мінімізувати простой, пов'язані з технічними несправностями.

Важливою складовою ефективною системи доставки є управління запасами, зокрема формування страхових резервів, які забезпечують безперервність постачань у разі затримок або коливань попиту. У сучасній логістиці широко застосовуються інтегровані підходи до управління запасами, серед яких варто виділити моделі, що передбачають активну взаємодію між учасниками ланцюга постачання. Так, система, за якої постачальник бере на себе відповідальність за управління запасами споживача, дозволяє уникнути як дефіциту, так і надлишків продукції, скоротити адміністративні витрати та забезпечити стабільність

постачань. Інші підходи орієнтовані на безперервне поповнення запасів на основі даних про фактичне споживання або на спільне планування, прогнозування та координацію дій усіх учасників логістичного ланцюга. Використання таких моделей сприяє підвищенню точності прогнозування, зниженню витрат і покращенню якості обслуговування клієнтів.

Суттєву роль у розвитку систем доставки відіграють сучасні логістичні концепції, які формують стратегічну основу управління потоками. Орієнтація на постачання ресурсів точно у момент їхньої потреби дозволяє мінімізувати запаси та скоротити витрати на їх зберігання, однак вимагає високої узгодженості між усіма учасниками процесу. Паралельно застосовуються підходи, спрямовані на усунення втрат і підвищення ефективності операцій, що досягається через стандартизацію процесів, постійне вдосконалення та оптимізацію потоків створення цінності. Управління якістю охоплює всі етапи логістичного процесу, орієнтуючись на потреби клієнта, запобігання помилкам і безперервне покращення сервісу. Системний підхід до опису та аналізу логістичних процесів дозволяє виявляти вузькі місця, порівнювати результати діяльності з галузевими стандартами та впроваджувати ефективні рішення. Окреме значення має концепція, орієнтована на швидке реагування на зміни попиту, що забезпечує скорочення запасів і підвищення гнучкості системи, а також підхід, у якому час розглядається як ключовий ресурс, що підлягає максимальній оптимізації.

Цифровізація логістики є одним із найважливіших чинників підвищення ефективності доставки в сучасних умовах. Використання інтегрованих інформаційних систем дозволяє об'єднати всі бізнес-процеси підприємства в єдине інформаційне середовище, забезпечити прозорість операцій та підвищити якість управлінських рішень. Системи планування ресурсів, управління виробництвом і ланцюгами постачання забезпечують синхронізацію матеріальних і інформаційних потоків, що сприяє зниженню витрат і підвищенню ефективності діяльності. Інструменти управління взаєминами з клієнтами дозволяють краще розуміти потреби споживачів і адаптувати сервіс до їхніх очікувань. Водночас технології супутникового моніторингу забезпечують контроль за рухом транспорту та підвищують безпеку перевезень, а електронний обмін даними дозволяє автоматизувати документообіг і зменшити кількість помилок. У сукупності ці рішення сприяють скороченню часу обробки замовлень, підвищенню точності планування та оперативності реагування на відхилення [2-4].

Управління якістю транспортно-логістичних послуг є невід'ємною складовою ефективною системи доставки, оскільки рівень задоволеності клієнтів визначається не лише базовими характеристиками надійності та безпеки, але й швидкістю, гнучкістю та індивідуалізацією сервісу. Системний підхід до забезпечення якості передбачає аналіз поточного стану, виявлення проблемних зон, розробку та впровадження заходів із їх усунення, а також постійний моніторинг результатів і вдосконалення процесів. Це дозволяє підприємствам підвищувати свою конкурентоспроможність і формувати довгострокові відносини з клієнтами.

Не менш важливим напрямом є інфраструктурна модернізація, оскільки зношеність транспортних засобів і застарілі технічні ресурси суттєво обмежують ефективність логістичних операцій [3, 4]. Оновлення автопарку, впровадження сучасних технологій технічного обслуговування, використання аналітичних інструментів для прогнозування відмов і планування ремонтів дозволяють зменшити ризики простоїв, знизити витрати та підвищити надійність системи доставки.

Таким чином, сучасна система доставки готової продукції повинна формуватися як комплексна, інтегрована та адаптивна структура, що поєднує оптимізацію маршрутів, ефективне управління ресурсами, впровадження інноваційних логістичних концепцій, цифрові технології та системи управління якістю. Визначальними чинниками її ефективності виступають системність, гнучкість, орієнтація на клієнта та здатність швидко реагувати на зміни зовнішнього середовища. Саме така модель забезпечує створення конкурентоспроможної, стійкої та клієнтоорієнтованої логістичної системи в умовах сучасних викликів.

#### **Література:**

1. Стан логістичної галузі в Україні: тренди та особливості. URL: <https://hub.kyivstar.ua/articles/galuzevi-trendi-stan-logistichnoyi-galuzi-v-ukrayinitrendi-ta-osoblivosti><https://hub.kyivstar.ua/articles/galuzevi-trendi-stan-logistichnoyi-galuziv-ukrayini-trendi-ta-osoblivosti> (дата звернення 21.11.2025).

2. Огінок С., Рудюк Я., Андрухів І. (2023). Інтелектуалізація економіки як чинник інноваційного розвитку. Український економічний часопис, (1), 43–47.

3. Матвієнко М.В., Щербина В.В., Бондаренко В.І. Управління якістю послуг транспортно-логістичних компаній. Розвиток методів управління та господарювання на транспорті. 2017. 3 (60). С. 131–146.

4. Павловський М.В., Корюгін А.В. Управління якістю транспортно-логістичних процесів підприємства. Цифрова економіка та економічна безпека. 2023. 6 (06). С. 41-45.

УДК 656.073:005.932(100)

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У СИСТЕМІ МІЖНАРОДНОЇ ЛОГІСТИКИ НА ПРИКЛАДІ ТОВ «СВ БРОК»**

**Мацкевич Віктор Володимирович**, студент<sup>3</sup>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
mazkevuch04@gmail.com

Удосконалення транспортних процесів у мультимодальних перевезеннях є важливим напрямом розвитку сучасної логістичної системи України. В умовах глобалізації та трансформації традиційних логістичних маршрутів зростає значення ефективної організації доставки вантажів із використанням кількох

---

<sup>3</sup> Науковий керівник – Опалко В.Г., к.т.н., доцент

видів транспорту в межах єдиного перевізного процесу. Саме така організація забезпечує стійкість і конкурентоспроможність міжнародних перевезень.

Сучасні економічні умови зумовлюють необхідність впровадження логістичними операторами нових підходів до координації транспортних ланцюгів. Досвід діяльності ТОВ «СВ БРОК» свідчить про те, що використання мультимодальних перевезень дозволяє ефективно поєднувати можливості морського, залізничного та автомобільного транспорту. Це, у свою чергу, сприяє оптимізації витрат, підвищенню надійності доставки та більш гнучкому реагуванню на зміни транспортного середовища.

Важливим завданням удосконалення мультимодальних перевезень є забезпечення узгодженої роботи всіх учасників транспортного процесу. Особливого значення набуває правильний вибір терміналів і технологій перевантаження, які повинні відповідати характеристикам вантажу та умовам його транспортування. Ефективність організації мультимодальних перевезень значною мірою визначається умовами функціонування транспортної інфраструктури та параметрами логістичного середовища. Зокрема, при виборі маршрутів враховується розташування ключових транзитних вузлів і портів, таких як Гданськ, Констанца, Варна, технічний стан і пропускна спроможність терміналів, рівень цифровізації документообігу, а також особливості митного регулювання у країнах транзиту. Важливу роль відіграє також стандартизація транспортних одиниць, насамперед контейнеризація, що забезпечує сумісність різних видів транспорту. У практичній діяльності ТОВ «СВ БРОК» мультимодальні рішення застосовуються для підвищення гнучкості постачань. Комбінування різних видів транспорту, зокрема схем «авіа–авто», «море–авто» або «море–залізниця», дозволяє формувати оптимальні логістичні рішення та зменшувати ризики затримок у процесі доставки.

Оцінювання ефективності транспортних процесів здійснюється за сукупністю показників, серед яких ключове значення мають тривалість доставки, рівень збереження вантажу, величина логістичних витрат, а також прозорість інформаційного супроводу перевезення. Окрему увагу приділяють екологічним аспектам, що пов'язані із впровадженням принципів сталої логістики. Перспективним напрямом розвитку діяльності підприємства є впровадження інтелектуальних систем управління логістичними процесами. Йдеться про автоматизацію планування маршрутів, використання аналітичних інструментів для прогнозування можливих збоїв і формування єдиного інформаційного середовища взаємодії між усіма учасниками перевезення.

Удосконалення мультимодальних перевезень забезпечує підвищення адаптивності логістичних систем до змін інфраструктури, розширює можливості організації доставки за принципом «від дверей до дверей», сприяє більш раціональному використанню складських ресурсів та підвищує якість транспортно-логістичного обслуговування. Сучасні умови функціонування транспортної системи України зумовлюють необхідність розвитку мультимодальних терміналів і так званих «сухих портів». Практика ТОВ «СВ БРОК», яке активно використовує маршрути через порти країн Європейського Союзу, підтверджує доцільність переходу до більш гнучких і диверсифікованих логістичних схем.

Отже, подальше вдосконалення транспортних процесів у мультимодальних перевезеннях пов'язане з розвитком інфраструктури, впровадженням цифрових технологій та підвищенням рівня координації учасників перевізного процесу, що є необхідною умовою інтеграції українських підприємств у міжнародні логістичні системи.

#### **Література**

1. Криворучко О. В. Менеджмент транспортно-логістичної діяльності підприємства : навч. посібник. Харків : ХНАДУ, 2021. 256 с.

2. Офіційний сайт логістичного оператора ТОВ «СВ БРОК». URL: <https://sv-brok.com.ua/>

УДК 656.073.235(477)

### **СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ**

**Сак Валентина Віталіївна**, студентка<sup>4</sup>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
valentinasak04@gmail.com

Розвиток перевезень вантажів у контейнерах є фундаментальним напрямком технологічної організації сучасного транспортного процесу, що визначає ефективність усієї логістичної складової країни. Контейнеризація у сучасних умовах виступає найбільш універсальним методом доставки, оскільки базується на використанні вантажного контейнера — стандартизованої одиниці обладнання багаторазового використання. Основна функція контейнера полягає в забезпеченні цілісності вантажу та можливості його швидкого перевантаження між різними видами транспорту без безпосереднього контакту з товаром.

Контейнери класифікують за декількома ознаками, що дозволяє підібрати оптимальне рішення для будь-якого запиту. За призначенням їх поділяють на універсальні, що підходять для більшості промислових товарів, та спеціалізовані. До останніх належать ізотермічні та рефрижераторні контейнери для швидкопсувних вантажів; танк-контейнери для перевезення рідких хімічних або харчових продуктів; а також відкриті платформи для негабаритних конструкцій. За конструкційними особливостями виділяють криті, розбірні та герметичні моделі, що дозволяє безпечно транспортувати все: від крихкої електроніки до сипучих аграрних культур. Використання двадцяти- та сорокафутових одиниць дозволяє реалізувати концепцію мультимодальності, де поєднання морського, залізничного та автомобільного транспорту оптимізує витрати та пришвидшує доставку за принципом «від дверей до дверей».

Світовий розвиток контейнерних перевезень характеризується активним впровадженням інновацій та автоматизацією термінальних операцій. Провідні світові порти ставлять за мету максимальне скорочення часу перебування

---

<sup>4</sup> Науковий керівник – Опалко В.Г., к.т.н., доцент

вантажів у термінальній зоні, а також мінімізацію витрат на маневрові та навантажувально-розвантажувальні роботи через впровадження інтелектуальних систем управління. Сучасні вимоги клієнтів до якості та надійності транспортно-логістичних послуг стають головним фактором трансформації галузі, що змушує операторів переходити до регулярних маршрутних перевезень із чітким фіксованим графіком. Глобальні лідери також демонструють тенденцію до збільшення використання сорокап'ятифутових контейнерів для максимізації корисного об'єму, що дозволяє суттєво знижувати логістичну складову в собівартості продукції. В Україні морські контейнерні перевезення демонструють високу адаптивність до складних воєнних умов. Станом на початок 2026 року спостерігається певне відновлення активності у глибоководних портах. Для магістерського дослідження було проаналізовано динаміку обробки контейнерів у ключових портах країни за 2024, 2025 роки та сформовано прогноз на поточний період.

Таблиця 1 Динаміка обробки контейнерів у портах України (тис. TEU)

Порт / Термінал	I квартал 2024 р.	I квартал 2025 р.	I квартал 2026 р. (прогноз)
Одеський морський порт	125,4	159,8	182,2
Порт Чорноморськ	82,1	108,4	120,5
Порт Південний (ТІС)	45,6	52,7	61,4
Усього	253,1	320,9	364,1

Аналіз динаміки обробки контейнерів свідчить про стійку тенденцію до зростання обсягів перевалки. У 2025 році порівняно з 2024 роком загальний контейнерообіг зріс з 253,1 до 320,9 тис. одиниць, що становить приблизно 26,8 відсотка. Прогнозні значення на 2026 рік демонструють подальше зростання до 364,1 тис. одиниць, що на 13,5 відсотка більше порівняно з 2025 роком. Найвищі темпи зростання спостерігаються в Одеському морському порту, де обсяг перевалки збільшився на 27,4 відсотка у 2025 році та прогнозується подальше зростання на 14,0 відсотка у 2026 році. Аналогічна тенденція характерна для порту Чорноморськ (зростання на 32,0 відсотка та 11,2 відсотка відповідно) та порту Південний (зростання на 15,6 відсотка та 16,5 відсотка). Отримані результати свідчать про відновлення контейнерних перевезень після кризового періоду, проте темпи зростання поступово уповільнюються, що може бути пов'язано з інфраструктурними обмеженнями та зовнішніми ризиками.

Дослідницький аналіз структури перевезень станом на 2025 рік показує, що контейнерообіг розподілений між імпортом (52,1%) та експортом (47,9%). Лідером ринку залишається Одеський порт, який демонструє стабільне зростання завдяки відновленню регулярних лінійних сервісів. Проте, попри позитивну статистику в окремих вузлах, загальна ситуація в Україні залишається складною через системне відставання інфраструктури від стандартів Європейського Союзу.

Головною проблемою наразі є критичний дефіцит сучасних складських потужностей. Для порівняння: у Польщі функціонує близько 30 мільйонів квадратних метрів складів класів А і В, тоді як в Україні цей показник ледь досягає 3 мільйонів, причому значна частина цих площ була пошкоджена або

повністю зруйнована внаслідок бойових дій (втрати оцінюються у понад 850 тисяч квадратних метрів). Через безпекові ризики українські вантажовідправники змушені використовувати альтернативні логістичні маршрути через порти Польщі, Румунії та Болгарії. Використання портів Гданська та Констанци призводить до збільшення відстані перевезення та до здорожчання вартості доставки кожної одиниці товару.

Для подолання цих розривів необхідний новий погляд на розміщення об'єктів транспортно-логістичної інфраструктури. Це потребує вдосконалення науково-методичної бази для обґрунтування потужності нових контейнерних терміналів та їх стратегічного розташування. Національна транспортна стратегія України до 2030 року визначає пріоритетом створення мережі мультимодальних кластерів та так званих «сухих портів» у західних регіонах країни. Це дозволить розвантажити прифронтові зони та забезпечити безперервний експорт аграрної продукції, зокрема через використання спеціалізованих контейнерів для зерна, які є набагато мобільнішими за традиційні вагони-зерновози.

Перспективи українського сектору контейнерних перевезень пов'язані з активним впровадженням мультимодальних ланцюгів, таких як комбінації морського та залізничного транспорту. Формування умов для підвищення рівня контейнеризації через розвиток нових транспортних продуктів є ключем до виживання та розвитку економіки. Системна інтеграція інноваційних технологій, автоматизація митних процедур та відновлення зруйнованої інфраструктури дозволять Україні стати повноцінною частиною глобальної контейнерної мережі, забезпечуючи високу якість сервісу та економічну ефективність національної логістики.

### **Література**

1. Морські порти України у 2025 році виконали план перевалки більш ніж на 95% попри безпрецедентний безпековий тиск: офіційний звіт ДП «Адміністрація морських портів України». URL: <https://www.uspa.gov.ua/news/morski-porty-ukrayiny-u-2025-roczy-vykonyaly-plan-perevalky-bilsh-nizh-na-95>
2. Kramskyi S. O., Mamontenko N. S., Darushyn O. V. International economics and implementation of information and communication logistics in multimodal transportation under turbulent conditions. *Грааль науки*. 2025. № 52. С. 328–340. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2025-52-328>.
3. Multimodal transportation risk modeling in Ukraine / I. Medvediev, D. Muzylyov et al. ResearchGate. February 2026. URL: [https://www.researchgate.net/publication/401113543\\_Multimodal\\_transportation\\_risk\\_modeling\\_in\\_Ukraine](https://www.researchgate.net/publication/401113543_Multimodal_transportation_risk_modeling_in_Ukraine).
4. Що чекає нас у 2026 році в галузі контейнерних перевезень: аналітичний огляд тенденцій (декарбонізація FuelEU та поправки SOLAS). HZ CONTAINERS. Січень 2026. URL: <https://hz-containers.com/uk/novyny/shcho-chekaje-nas-u-2026>.
5. Ситнік В. В., Пікуліна О. В. Розвиток мультимодальних перевезень в Україні: економічний та інфраструктурний виміри. *Review of Transport Economics and Management*. 2025. № 21. URL: <https://pte.ust.edu.ua/article/view/327135>.

**СЕКЦІЯ  
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ТРАНСПОРТІ**

УДК 004.9:656.01:331.4

**ІНФОРМАТИЗАЦІЯ ЛОГІСТИКИ В КОНТЕКСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ  
БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ УЧАСНИКІВ ЛОГІСТИЧНОГО  
ЛАНЦЮГА**

**Ломотько Денис Вікторович, д.т.н., професор  
Лактіонов Олександр Петрович,  
Литовченко Андрій Анатолійович,  
Золочевський Олександр Леонідович**

*Український державний університет залізничного транспорту  
den@kart.edu.ua*

Сучасний розвиток логістичних систем невіддільний від процесів цифровізації та інформатизації. Упровадження цифрових технологій — систем управління транспортом (TMS), систем управління складом (WMS), технологій Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту (ШІ) та блокчейну — суттєво підвищує прозорість, ефективність та стійкість ланцюгів постачання. Водночас стрімка автоматизація породжує нові виклики у сфері екологічної безпеки та охорони праці учасників логістичного ланцюга, які потребують комплексного наукового осмислення.

Аналіз сучасних тенденцій свідчить, що в Україні цифровізація логістики є стратегічним пріоритетом. Активне впровадження TMS та WMS дозволяє скорочувати операційні витрати та оптимізувати маршрутизацію, зокрема знижувати викиди CO<sub>2</sub> шляхом оптимізації маршрутів і переходу на електричний транспорт. Екологічна свідомість стає одним із ключових критеріїв конкурентоспроможності логістичних компаній в умовах євроінтеграції та вимог Європейського зеленого курсу (EU Green Deal). Це підтверджується дослідженнями вітчизняних науковців, які наголошують на необхідності впровадження принципів зеленої логістики як невід'ємної умови сталого розвитку галузі.

Інтеграція ESG-концепції (Environmental, Social, Governance) в логістичну діяльність відкриває нові можливості для системного вирішення проблем охорони праці. Соціальна складова ESG передбачає використання інноваційних технологій — сенсорів безпеки, автоматизованих систем контролю — для запобігання аваріям і травмам персоналу складів, водіїв та операторів логістичних центрів. Відповідність міжнародним стандартам ISO 45001 (охорона праці) та ISO 14001 (екологічний менеджмент) набуває критичного значення для учасників ланцюга постачання, що інтегруються в європейський ринок. Дослідження, проведені у рамках концепції Індустрії 4.0–5.0, підкреслюють, що цифрова трансформація ланцюгів постачання безпосередньо впливає на показники сталого розвитку та ESG-результативність підприємств.

Технологія блокчейн забезпечує повну простежуваність усіх етапів логістичного ланцюга, що дозволяє верифікувати відповідність екологічним нормам та умовам праці на кожному з них. Застосування ШІ та великих даних (Big Data) уможливорює прогнозування екологічних ризиків та потенційних небезпек для працівників у режимі реального часу. Системний огляд літератури 2010–2024 рр. [1-3] засвідчує, що синергетичне поєднання ШІ, блокчейну та IoT є ключовим чинником підвищення операційної ефективності, прозорості та стійкості ланцюгів постачання до зовнішніх викликів, зокрема екологічного та соціального характеру.

Таким чином, інформатизація логістики є необхідною умовою забезпечення екологічної безпеки та охорони праці в сучасному ланцюгу постачання. Впровадження цифрових рішень має супроводжуватися комплексним підходом, що передбачає: моніторинг екологічних показників у режимі реального часу; автоматизований контроль умов праці персоналу; відповідність міжнародним стандартам ESG та вимогам національного законодавства. Подальші дослідження в цьому напрямі матимуть практичну цінність для автотранспортних підприємств в умовах відновлення економіки України та курсу на євроінтеграцію.

#### **Література**

1. Solari F., Bottani E., Romagnoli G. Sustainable Logistics and Supply Chain Management in the Post-COVID-19 Era: Future Challenges and Challenging Futures. Sustainability. 2025. Vol. 17, No. 5. 1772. <https://doi.org/10.3390/su17051772>
2. Leogrande A. Integrating ESG Principles into Smart Logistics: Toward Sustainable Supply Chains. Munich Personal RePEc Archive. 2024. URL: <https://mp.ra.ub.uni-muenchen.de/122690/>
3. Denis Lomotko, Oleksandr Ohar, Dmytro Kozodoi, Vitalii Barbashyn, Mykola Lomotko; Prospects for the use “green” logistics as a safety factor in multimodal transportation of dangerous goods. AIP Conference Proceedings 31 May 2023; 2684 (1): 020008. <https://doi.org/10.1063/5.0120066>

УДК 656.13:004:656.7

### **ІНТЕГРАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ У ЛОГІСТИЧНІ ПРОЦЕСИ**

**Степанов Олексій Вікторович**, д.т.н., професор,  
**Сліпуха Тетяна Іванівна**, асистент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*  
e-mail: o.stepanov@nubip.edu.ua

Сучасний розвиток транспортно-логістичних систем відбувається в умовах зростаючих вимог до швидкості, надійності та економічної ефективності перевезень. Глобалізація ринків, підвищення конкуренції та необхідність оптимізації витрат обумовлюють потребу у впровадженні інноваційних технологій управління логістичними процесами. Одним із ключових напрямів такого розвитку є інтеграція інтелектуальних транспортних систем (ІТС), які

забезпечують автоматизований збір, обробку та аналіз інформації, а також підтримку прийняття управлінських рішень у реальному часі.

Інтелектуальні транспортні системи формують основу цифрової інфраструктури транспортної галузі, дозволяючи об'єднати транспортні засоби, логістичні центри, дорожню інфраструктуру та інформаційні платформи в єдине інформаційне середовище. Це створює передумови для підвищення ефективності логістичних процесів, зниження витрат і підвищення рівня безпеки перевезень [1; 2].

Метою роботи є дослідження особливостей інтеграції ІТС у логістичні процеси, визначення ключових технологічних рішень та оцінка їх впливу на ефективність транспортно-логістичних систем.

Інтелектуальні транспортні системи являють собою сукупність технологічних і програмних засобів, що забезпечують збір, обробку, передачу та використання інформації для управління транспортними потоками і логістичними операціями. У логістиці ІТС виконують функцію інформаційного інтегратора, що поєднує різні елементи системи – від постачальників до кінцевих споживачів.

Інтеграція ІТС дозволяє перейти від фрагментарного управління до системного підходу, що забезпечує узгодженість дій усіх учасників логістичного процесу та підвищує його ефективність [3].

Інтеграція інтелектуальних транспортних систем у логістику базується на використанні комплексу цифрових технологій, серед яких ключове значення мають:

1. Системи супутникового моніторингу та телематики

Застосування GPS/GLONASS-технологій дозволяє здійснювати безперервний контроль за переміщенням транспортних засобів і вантажів. Це забезпечує підвищення прозорості логістичних операцій та можливість оперативного реагування на відхилення від запланованих маршрутів.

2. Транспортні та логістичні інформаційні системи (TMS, WMS)

Системи управління транспортом (TMS) та складом (WMS) забезпечують автоматизацію планування перевезень, управління запасами, координацію логістичних операцій. Їх інтеграція з ІТС дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів і зменшити витрати.

3. Інтернет речей (IoT)

Використання сенсорних пристроїв дає змогу контролювати параметри перевезення (температуру, вологість, вібрацію), що є особливо важливим для транспортування чутливих вантажів.

4. Аналітика великих даних та штучний інтелект

Аналіз великих обсягів даних дозволяє прогнозувати попит, оптимізувати маршрути, зменшувати ризики затримок та підвищувати точність планування логістичних операцій [4].

5. Хмарні платформи та цифрові екосистеми

Хмарні технології забезпечують інтеграцію різних інформаційних систем у єдине середовище, що дозволяє забезпечити доступ до даних у реальному часі та підвищити гнучкість управління.

Інтеграція інтелектуальних транспортних систем у логістичні процеси забезпечує суттєве підвищення ефективності функціонування транспортно-логістичних систем. Зокрема, результати досліджень свідчать, що використання ІТС дозволяє покращити контроль за виконанням логістичних операцій [2; 5].

Крім економічного ефекту, інтеграція ІТС сприяє підвищенню рівня безпеки перевезень, зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та підвищенню якості обслуговування клієнтів.

Важливим аспектом є можливість створення адаптивних логістичних систем, які здатні змінювати параметри функціонування залежно від зовнішніх умов, таких як зміна попиту, дорожня ситуація або погодні умови.

Незважаючи на значний потенціал ІТС, процес їх інтеграції у логістичні процеси супроводжується рядом проблем. Однією з основних є висока вартість впровадження сучасних технологій, що включає витрати на обладнання, програмне забезпечення та підготовку персоналу. Для багатьох підприємств це є суттєвим обмеженням.

Іншою проблемою є недостатній рівень стандартизації інформаційних систем. Відсутність єдиних стандартів обміну даними ускладнює інтеграцію різних систем і знижує ефективність їх взаємодії. Крім того, існує проблема сумісності застарілих систем з новими цифровими рішеннями.

Суттєвим фактором є також питання кібербезпеки. Використання цифрових платформ та хмарних технологій підвищує ризик несанкціонованого доступу до інформації, що може призвести до порушення функціонування логістичних систем.

Окремої уваги потребує проблема кадрового забезпечення. Ефективне впровадження ІТС вимагає наявності кваліфікованих фахівців, які володіють сучасними інформаційними технологіями та здатні працювати з великими обсягами даних.

Перспективи розвитку інтеграції ІТС у логістичні процеси пов'язані з подальшим удосконаленням технологій штучного інтелекту, розвитком автономного транспорту, впровадженням блокчейн-технологій для забезпечення прозорості логістичних операцій та створенням єдиних цифрових платформ.

Очікується, що в майбутньому логістичні системи набудуть характеру повністю інтегрованих цифрових екосистем, які забезпечуватимуть безперервний обмін інформацією між усіма учасниками процесу. Це дозволить підвищити ефективність управління, знизити витрати та забезпечити високий рівень якості транспортних послуг.

Інтеграція інтелектуальних транспортних систем у логістичні процеси є важливим напрямом розвитку сучасної транспортної галузі. Використання цифрових технологій дозволяє підвищити ефективність управління, оптимізувати використання ресурсів, знизити витрати та підвищити якість логістичних послуг.

Незважаючи на існуючі проблеми, перспективи розвитку ІТС є значними і визначають подальший розвиток транспортно-логістичних систем. Комплексне впровадження інтелектуальних технологій створює передумови для формування ефективної, гнучкої та конкурентоспроможної логістичної інфраструктури.

## **Література**

1. Коваленко В. І. Інтелектуальні транспортні системи в логістиці. Київ: НТУ, 2022.
2. Бойко Г. В. Цифровізація транспортно-логістичних систем: сучасний стан та перспективи розвитку. Транспортні системи і технології, 2023, № 21, с. 45–52.
3. Птиця Г. Г., Абрамова Л. С. Аналіз підходів до реалізації системи управління безпекою дорожнього руху в Україні. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, 2024, № 17, с. 33–41.
4. European Commission. Intelligent Transport Systems in Logistics. Brussels, 2022.
5. OECD. Smart Logistics and Digital Transport Systems. Paris, 2021.

УДК 656.13:004.65

## **ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЛИКИХ ДАНИХ У СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТОМ**

**Степанов Олексій Вікторович**, д.т.н., професор,  
**Сліпуха Тетяна Іванівна**, асистент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*  
e-mail: o.stepanov@nubip.edu.ua

Сучасний розвиток транспортних систем супроводжується стрімким зростанням обсягів інформації, що генерується різноманітними джерелами, включаючи транспортні засоби, дорожню інфраструктуру, мобільні пристрої користувачів та інформаційні системи управління. У цих умовах традиційні методи обробки даних виявляються недостатньо ефективними, що обумовлює необхідність впровадження технологій великих даних (Big Data) у системи управління транспортом. Використання великих даних дозволяє забезпечити більш високий рівень обґрунтованості управлінських рішень, підвищити ефективність функціонування транспортних систем та знизити рівень аварійності.

Поняття великих даних у транспортній галузі пов'язане з обробкою значних за обсягом, швидкістю надходження та різноманітністю інформаційних потоків, які не можуть бути ефективно проаналізовані традиційними засобами. Основними характеристиками таких даних є обсяг, швидкість, різноманітність та достовірність, що визначає складність їх обробки та потребу у спеціалізованих технологіях аналізу. Джерелами великих даних у транспорті виступають системи GPS-навігації, сенсорні мережі, відеоспостереження, дані мобільних операторів, соціальні мережі та інформаційні системи перевізників.

Застосування великих даних у системах управління транспортом забезпечує принципово нові можливості для аналізу та прогнозування транспортних процесів. Зокрема, обробка даних у реальному часі дозволяє здійснювати оперативний моніторинг дорожньої ситуації, виявляти затори, прогнозувати зміну транспортних потоків та оптимізувати маршрути руху. Використання історичних даних дозволяє формувати моделі поведінки

транспортних систем і прогнозувати їх розвиток у середньо- та довгостроковій перспективі .

Одним із ключових напрямів застосування великих даних є управління дорожнім рухом у міських умовах. Аналіз інформації з різних джерел дозволяє формувати адаптивні системи управління світлофорними об'єктами, оптимізувати пропускну здатність вулично-дорожньої мережі та знижувати рівень заторів. Дослідження показують, що використання алгоритмів аналізу великих даних у поєднанні з інтелектуальними транспортними системами дозволяє підвищити ефективність управління рухом та зменшити затримки транспортних потоків .

Важливим напрямом є також використання великих даних у транспортному плануванні та моделюванні. Застосування інформації про переміщення користувачів, отриманої з мобільних пристроїв або транспортних карт, дозволяє більш точно визначати попит на перевезення, формувати оптимальні маршрути громадського транспорту та підвищувати якість транспортного обслуговування населення . Це створює передумови для формування ефективних транспортних систем, орієнтованих на потреби користувачів. Значний потенціал великих даних проявляється у сфері управління транспортною інфраструктурою. Інтеграція даних з різних джерел дозволяє здійснювати моніторинг технічного стану дорожніх об'єктів, прогнозувати їх зношення та планувати ремонтні роботи з урахуванням фактичного стану інфраструктури. Це сприяє підвищенню ефективності використання ресурсів та забезпеченню надійності транспортної системи .

У логістичних системах великі дані використовуються для оптимізації процесів перевезення вантажів, управління запасами та підвищення ефективності ланцюгів постачання. Аналіз інформації про рух транспортних засобів, стан дорожньої мережі та попит на перевезення дозволяє зменшити витрати, скоротити час доставки та підвищити рівень сервісу . Крім того, використання великих даних сприяє розвитку нових бізнес-моделей у транспортній галузі, зокрема сервісів спільного користування транспортом.

Разом з тим, впровадження технологій великих даних у системи управління транспортом супроводжується рядом проблем. Однією з основних є забезпечення якості даних, оскільки їх неповнота або неточність може призводити до помилкових управлінських рішень. Іншою важливою проблемою є інтеграція даних з різних джерел, що мають різну структуру та формат. Значні труднощі також пов'язані із забезпеченням інформаційної безпеки та захисту персональних даних користувачів транспортних систем.

Крім того, реалізація систем на основі великих даних потребує значних інвестицій у створення інформаційної інфраструктури, включаючи серверні потужності, системи зберігання даних та програмне забезпечення для їх аналізу. Необхідною умовою ефективного впровадження є також підготовка фахівців, здатних працювати з великими обсягами даних та застосовувати сучасні аналітичні методи.

Перспективи розвитку застосування великих даних у транспортних системах пов'язані з подальшим удосконаленням технологій штучного

інтелекту, Інтернету речей та хмарних обчислень. Очікується, що інтеграція цих технологій дозволить створити інтелектуальні транспортні системи нового покоління, здатні до самонавчання та адаптації до змінних умов функціонування. Це, у свою чергу, сприятиме підвищенню ефективності управління транспортом, зниженню рівня аварійності та покращенню якості транспортних послуг.

Таким чином, використання великих даних є одним із ключових напрямів розвитку сучасних систем управління транспортом. Їх застосування забезпечує перехід до нової парадигми управління, заснованої на аналізі даних, що дозволяє підвищити ефективність, безпеку та сталість транспортних систем.

### **Література**

1. Dudek T., Kujawski A. The Concept of Big Data Management with Various Transportation Systems Sources as a Key Role in Smart Cities Development. *Energies*, 2022, Vol. 15(24). DOI: 10.3390/en15249506.
2. Guo R., Zhou J. Research on Digital Management System of Transport Infrastructure in the Era of Big Data. *SAE Technical Paper 2020-01-5139*, 2020.
3. Iliashenko O., Iliashenko V., Lukyanchenko E. Big Data in Transport Modelling and Planning. *Transportation Research Procedia*, 2021, Vol. 54, pp. 900–908.
4. Tzika-Kostopoulou D., Nathanail E., Kokkinos K. Big data in transportation: a systematic literature analysis and topic classification. *Knowledge and Information Systems*, 2024.
5. Borgi T., Zoghلامي N., Abed M. Big data for transport and logistics: A review. *Proceedings of IC\_ASET*, 2017.

УДК 629.33.004.5

## **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ**

**Орищенко Сергій Вікторович**, к.т.н., доцент,  
*Національний університет біоресурсів і природокористування*  
e-mail: oryschenko.sv@nubip.edu.ua

У сучасних умовах стрімкого розвитку автомобільного транспорту особливого значення набуває впровадження інтелектуальних систем автономного керування. Такі системи базуються на використанні штучного інтелекту (ШІ), що дозволяє забезпечити високий рівень автоматизації процесів керування транспортними засобами та мінімізувати вплив людського фактора.

Основою автономного керування є комплексна інтеграція сенсорних систем, до яких належать камери, лідари, радары, ультразвукові датчики та системи глобального позиціонування (GPS). Зібрані дані обробляються за допомогою алгоритмів машинного навчання та комп'ютерного зору, що дозволяє розпізнавати дорожні знаки, розмітку, пішоходів та інші транспортні засоби. Інтелектуальна система автономного керування складається з кількох ключових модулів: модуль сприйняття, модуль локалізації, модуль планування траєкторії та модуль керування. Модуль сприйняття відповідає за аналіз навколишнього середовища, модуль локалізації визначає точне

положення транспортного засобу, модуль планування формує безпечну траєкторію руху, а модуль керування реалізує відповідні дії.

Однією з ключових переваг автономних систем є підвищення безпеки дорожнього руху. Завдяки швидкому аналізу ситуації та прийняттю рішень у реальному часі зменшується ризик виникнення дорожньо-транспортних пригод. Крім того, такі системи дозволяють оптимізувати транспортні потоки, знизити витрати пального та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Разом з тим існують певні проблеми та виклики, зокрема забезпечення надійності роботи систем у складних погодних умовах, захист від кіберзагроз, а також необхідність удосконалення законодавчої бази. Подальший розвиток автономного транспорту пов'язаний із впровадженням технологій V2X, що забезпечують обмін даними між транспортними засобами та інфраструктурою.

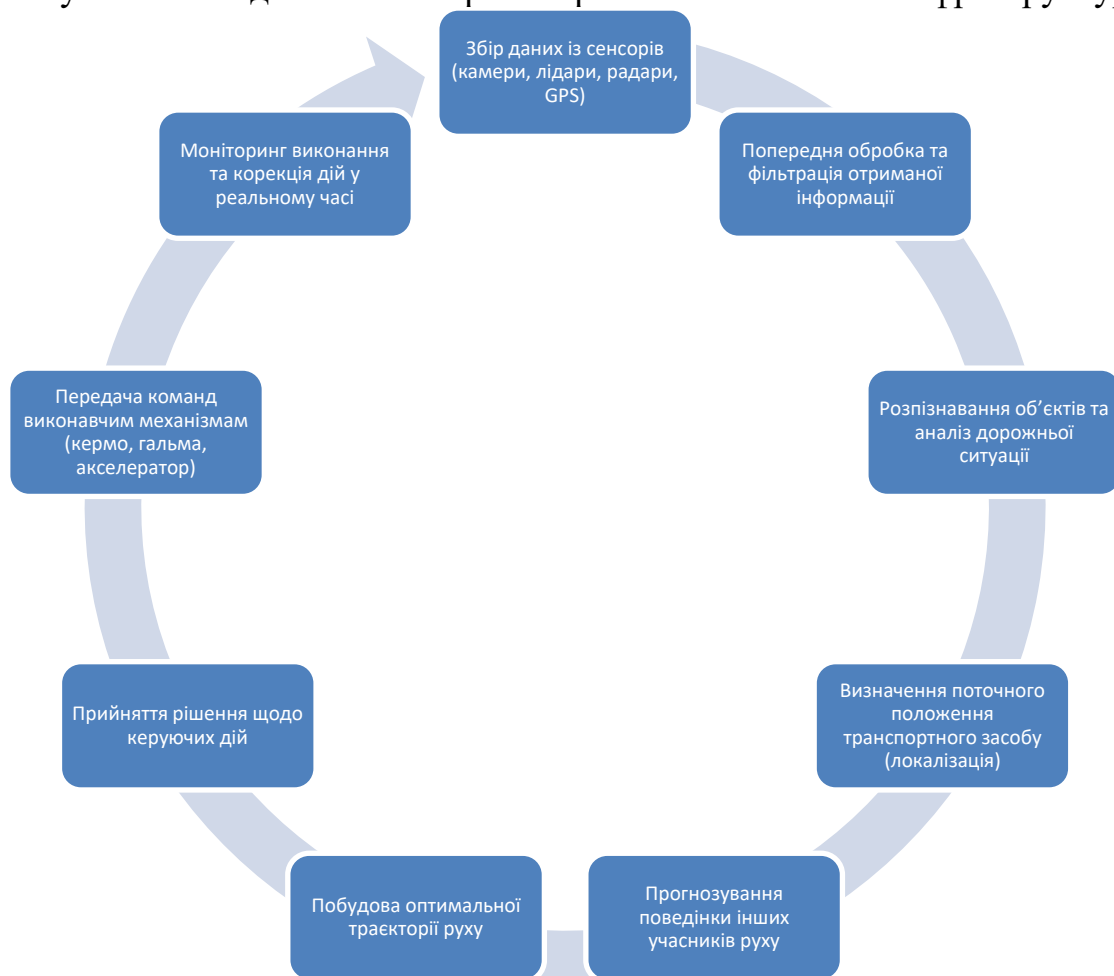


Рис.1 Алгоритм роботи інтелектуальної системи автономного керування

У результаті дослідження встановлено, що інтелектуальні системи автономного керування транспортними засобами є перспективним напрямом розвитку автомобільного транспорту. Їх впровадження сприяє підвищенню безпеки дорожнього руху, ефективності перевезень та зниженню впливу людського фактора. Подальший розвиток таких систем пов'язаний із удосконаленням алгоритмів штучного інтелекту, підвищенням надійності роботи та інтеграцією з інтелектуальною транспортною інфраструктурою.

## Література

1. Grigorescu S., Trasnea B., Cocias T., Macesanu G. A Survey of Deep Learning Techniques for Autonomous Driving // *Journal of Field Robotics*. – 2024. – Vol. 41(2). – P. 215–245.
2. Kuutti S., Bowden R., Jin Y., Barber P., Fallah S. A Survey of Deep Learning Applications to Autonomous Vehicle Control // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2023. – Vol. 24(5). – P. 4512–4530.
3. Pendleton S. D., Andersen H., Du X. et al. Perception, Planning, Control, and Coordination for Autonomous Vehicles // *Machines*. – 2023. – Vol. 11(2). – 152.
4. Mygal V. P., Sylevitch V. Yu., Mygal G. V. Integrated diagnostics of the functional state of transport system elements based on the visualization of noise signals // *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V. I. Vernadskoho*. – 2020. – Vol. 31 (70), Part 2, No. 3. – P. 102–108. DOI: <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.3-2/18>

УДК 656.073.7:004.94

## ЦИФРОВИЙ ОБЛІК У ТРАНСПОРТНОМУ ПРОЦЕСІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПОШТУЧНИХ ВАНТАЖІВ

Савченко Лілія Анатоліївна, к.т.н., доцент

Максим Бумар, студент

Національний університет біоресурсів та природокористування України

email: lilya\_savchenko@nubip.edu.ua

Поштучні вантажі становлять найбільш неоднорідну категорію в структурі вантажопотоків автомобільного транспорту. Їх специфіка - різноманітність габаритів, маси та пакування, необхідність індивідуального обліку кожної одиниці та висока частота перевантажень - зумовлює суттєво вищий рівень помилок ідентифікації порівняно з навальними або рідкими вантажами. За оцінками логістичних операторів, до 4,2 % відправлень поштучних вантажів мають розбіжності між фактичним складом і товаросупровідними документами вже на етапі завантаження [1]. Це генерує претензії, повернення та затримки доставки, які в сукупності збільшують операційні витрати перевізника на 9–14 %.

Традиційний підхід до обліку — паперові накладні з ручним підрахунком — практично вичерпав свій потенціал в умовах зростання обсягів електронної торгівлі та мультисортового постачання. Впровадження технологій автоматичної ідентифікації (AutoID) — штрихових кодів стандартів GS1-128 та QR, а також RFID-міток - відкриває можливість формування замкненого контуру цифрового обліку від постачальника до отримувача, де кожна одиниця вантажу отримує унікальний цифровий паспорт і відстежується в реальному часі [2].

Мета роботи - розробити показники ефективності системи цифрового обліку поштучних вантажів та обґрунтувати критерії вибору технології автоматичної ідентифікації залежно від характеристик транспортного процесу.

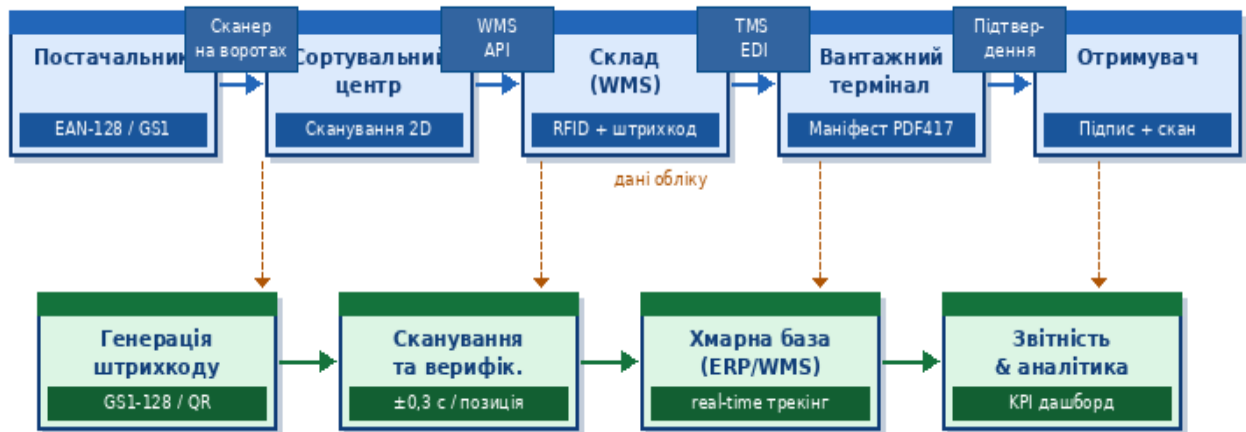


Рис. 1. Двоконтурна схема транспортного процесу перевезення поштучних вантажів із системою цифрового обліку

На рис. 1 представлено авторську двоконтурну схему організації транспортного процесу. Верхній контур відображає фізичний рух вантажних одиниць: від постачальника через сортувальний центр, склад (WMS), вантажний термінал до отримувача. На кожному переході встановлено точку автоматичного сканування. Нижній контур - цифрова шина обліку: генерація унікального штрихового коду → сканування та верифікація → синхронізація з хмарною базою ERP/WMS → формування KPI-дашборду. Зв'язок між контурами здійснюється через передачу даних сканування в реальному часі (помаранчеві пунктирні лінії), що забезпечує збіг фізичного та інформаційного потоків на кожному вузлі маршруту.

Для оцінювання якості роботи системи цифрового обліку запропоновано три взаємопов'язані показники.

1. Коефіцієнт точності ідентифікації  $K_{ід}$  - частка вантажних одиниць, ідентифікованих без розбіжностей між фізичним і документальним обліком, у загальній кількості відправлень:

$$K_{ід} = (N_{заг} - N_{пом}) / N_{заг} \times 100 \%, \quad (1)$$

де  $N_{заг}$  – загальна кількість вантажних одиниць за рейс;

$N_{пом}$  – кількість одиниць із помилками ідентифікації (пересорт, нестача, пошкодження маркування). Нормативне значення для систем із штрихкодуванням GS1-128:  $K_{ід} \geq 99,5 \%$ .

2. Питомий час сканування однієї позиції  $\tau_c$  - середній фактичний час, витрачений на зчитування і верифікацію однієї вантажної одиниці:

$$\tau_c = T_{скан} / N_{заг}, \quad (2)$$

де  $T_{скан}$  - сумарний час сканування всіх позицій за операцію, с. Орієнтири: при 1D-штрихкодів  $\tau_c = 0,3-0,6$  с/позиція; при RFID (зчитування пакету)  $\tau_c = 0,02-0,05$  с/позиція. Скорочення  $\tau_c$  прямо зменшує час простою транспортного засобу під завантаженням [3].

3. Індекс цифрової синхронізації  $I_{дс}$  - відношення кількості вантажних одиниць, дані яких передано в ERP/WMS до моменту відправлення транспортного засобу, до їх загальної кількості:

$$I_{дс} = N_{сінх} / N_{заг} \times 100 \%, \quad (3)$$

Де  $N_{сінх}$  – кількість позицій, переданих у систему до моменту відправлення. Значення  $I_{дс} < 100 \%$  означає наявність «білих плям» у відстеженні вантажу на маршруті та підвищений ризик розбіжностей при прийманні [2].

Практичне застосування запропонованої схеми (рис. 1) та системи показників перевірено на модельному прикладі транспортного процесу перевезення товарів роздрібною торгівлі: маршрут 180 км, 6 зупинок, середній обсяг партії 340 вантажних одиниць за рейс. Порівняння двох варіантів організації обліку наведено в табл. 1.

Як видно з табл. 1, перехід від ручного обліку до RFID-ідентифікації скорочує час простою транспортного засобу під обліком із 24 до 0,4 хв, тобто на 98 %. При обсязі 20 рейсів на добу це вивільняє понад 7 годин машинного часу щодобово. Показник  $K_{ід}$  зростає до 99,9 %, що відповідає рівню «безпомилкового» обліку за міжнародними стандартами GS1.

Таблиця 1. Порівняння варіантів організації обліку поштучних вантажів

Показник	Ручний облік	1D-штрихкод (GS1-128)	RFID (UHF Gen2)	Зміна (RFID vs ручний)
$K_{ід}$ , %	96,1	99,6	99,9	+3,8 п.п.
$\tau_c$ , с/позиція	4,2	0,4	0,03	-99 %
$I_{ас}$ , %	71	98	100	+29 п.п.
Час простою ТЗ під обліком, хв	24	5	0,4	-98 %
Питома вартість помилки, грн/рейс	1 840	185	42	-98 %

Запропонована двоконтурна модель організації транспортного процесу (рис. 1) дозволяє розглядати фізичний і інформаційний потоки як єдину керовану систему. Ключовою умовою її ефективності є досягнення  $I_{дс} = 100 \%$  - повна цифрова синхронізація до моменту відправлення транспортного засобу. Система показників  $K_{ід}$ ,  $\tau_c$ ,  $I_{дс}$  надає перевізникові інструмент для кількісного порівняння альтернативних технологій обліку та обґрунтування інвестицій у AutoID-інфраструктуру. Вибір між 1D-штрихкодом та RFID визначається насамперед питомим часом сканування та вимогами до  $K_{ід}$ : для партій понад 200 одиниць і вимог  $K_{ід} \geq 99,8 \%$  економічно доцільним є RFID [3].

### Література

1. Helm M., Malikova A., Kembro J. Rooting out the root causes of order fulfilment errors: a multiple case study. *International Journal of Production Research*. 2024. Vol. 62, No. 11. P. 3853–3871. DOI: 10.1080/00207543.2023.2251060.

2. Casella G., Filippelli S., Bigliardi B., Bottani E. Radio frequency identification technology in logistics: A review of the literature. *International Journal of RF Technologies*. 2022. Vol. 12, No. 4. P. 1–18. DOI: 10.3233/RFT-220321.

3. Tan W. C., Sidhu M. S. Review of RFID and IoT integration in supply chain management. *Operations Research Perspectives*. 2022. Vol. 9. Art. 100229. DOI: 10.1016/j.orp.2022.100229.

УДК 658.5.011

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ (ITS) У СЕРВІСНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

**Тітова Людмила Леонідівна**, к.т.н., доцент,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
e-mail: l\_titova@nubip.edu.ua

Цифровізація транспортної галузі зумовлює необхідність впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS) у процеси технічного обслуговування автотранспортних засобів (АТЗ). Використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій дозволяє підвищити ефективність експлуатації рухомого складу, знизити витрати та забезпечити безпеку перевезень.

Інтелектуальні транспортні системи – це комплекс програмно-апаратних засобів, що забезпечують збір, передачу, обробку та аналіз даних про технічний стан транспортного засобу в режимі реального часу. Основу функціонування складають телематичні платформи, бортові діагностичні системи (OBD-II), датчики контролю параметрів та аналітичне програмне забезпечення.

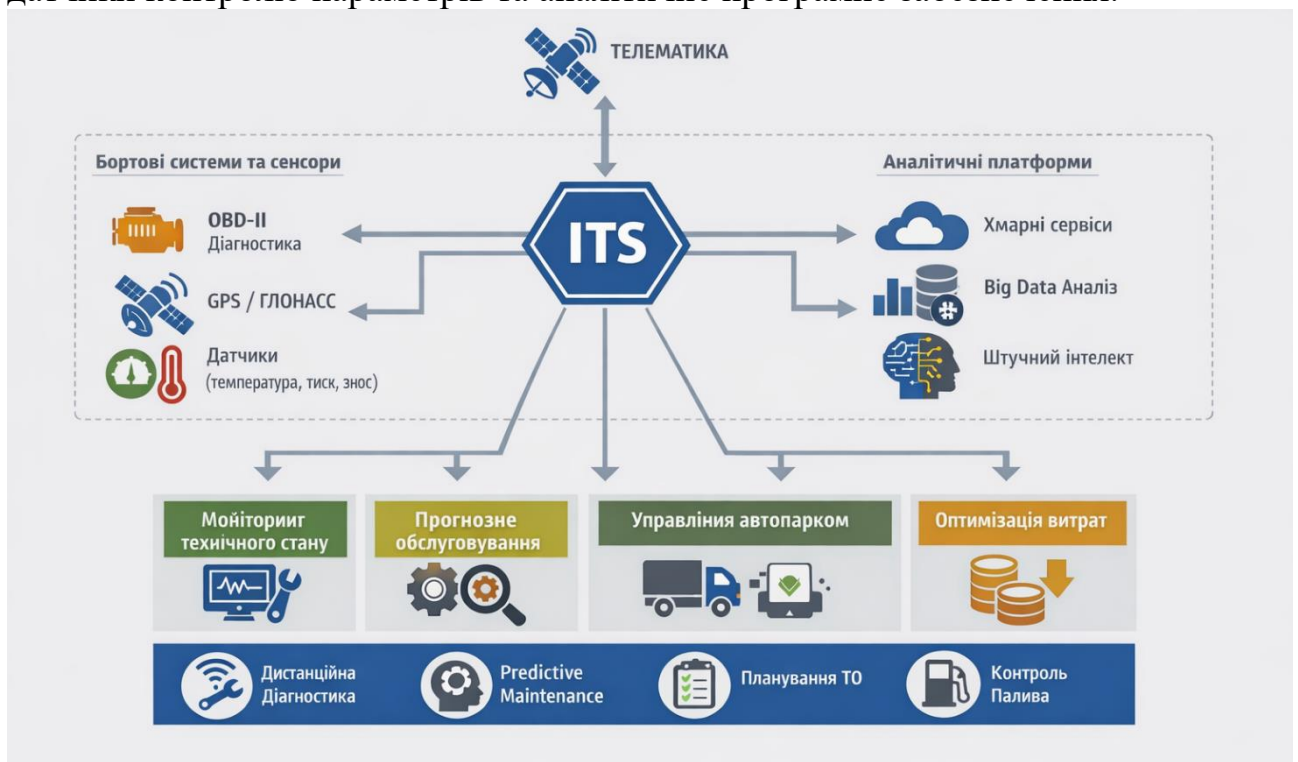


Рис. 1. Інтелектуальні транспортні системи у сервісному обслуговуванні АТЗ

Основні напрями застосування ITS у сервісі:

- дистанційний моніторинг технічного стану;
- автоматизоване планування технічного обслуговування;
- прогнозування відмов (predictive maintenance);
- управління автопарком;
- контроль витрат палива та ресурсів агрегатів.

Технологічна база ITS включає:

- GPS/ГЛОНАСС-навігацію;
- мобільний зв'язок (GSM, 4G, 5G);
- хмарні платформи зберігання даних;
- алгоритми машинного навчання та статистичного аналізу.

Провідні виробники комерційного транспорту, зокрема Volvo Trucks, MAN Truck & Bus та Scania, впроваджують власні телематичні сервіси, що інтегрують сервісні центри з транспортними засобами та дозволяють здійснювати дистанційну діагностику.

Економічний ефект впровадження ITS:

- зниження витрат на ремонт на 15–25 %;
- скорочення простоїв транспорту на 20–30 %;
- підвищення коефіцієнта технічної готовності;
- оптимізація запасів запасних частин.

Проблеми впровадження:

- значні первинні інвестиції;
- необхідність підготовки персоналу;
- кібербезпека та захист даних;
- інтеграція з існуючими інформаційними системами підприємства.

Інтелектуальні транспортні системи є ефективним інструментом модернізації технічного сервісу автотранспортних засобів. Їх використання забезпечує перехід від регламентного до стан-залежного та прогнозного обслуговування, що сприяє підвищенню надійності рухомого складу, економічній ефективності підприємств та безпеці перевезень.

### Література

1. Рівень автомобілізації в Україні в 2019 році. URL: <https://ecolog-ua.com/news/nova-norma-do-yakoyi-maye-pragnuty-ukrayina-mobilnist-z-nulovomu-vykydamy-dlya-vsih> (дата звернення: 04.03.2021).

2. Автомобільна промисловість / Вікіпедія – Україна. URL: [http://uk.wikipedia.org/wiki/Автомобільна\\_промисловість](http://uk.wikipedia.org/wiki/Автомобільна_промисловість) (дата звернення: 05.03.2021).

УДК 004.9:656.078:378.147

## СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ТА УПРАВЛІННЯ «РОЗУМНИМИ» МІСТАМИ НА ОСНОВІ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

**Іванов Євген Костянтинович**, викладач

*ВСП «Ніжинський фаховий коледж НУБіП України»*

e-mail: [evgeneo@gmail.com](mailto:evgeneo@gmail.com)

Стрімка урбанізація та зростання кількості транспортних засобів у мегаполісах зумовлюють нагальну потребу у впровадженні інноваційних підходів до управління міською інфраструктурою. Концепція «розумного міста» (Smart City) набуває все більшого практичного значення, однак її реалізація

потребує системного науково-методологічного обґрунтування [3]. У цьому контексті цифрові двійники (Digital Twins) та технології штучного інтелекту (ШІ) виступають ключовими інструментами трансформації міського середовища [1; 5].

Цифровий двійник міста являє собою динамічну віртуальну модель реального урбаністичного середовища, що синхронізується з фізичними об'єктами у режимі реального часу на основі даних IoT-сенсорів, супутникових знімків та відкритих датасетів [1]. На відміну від традиційних ГІС-систем, цифровий двійник забезпечує не лише статичне відображення інфраструктури, але й предиктивне моделювання сценаріїв розвитку подій.

Ключовими компонентами архітектури цифрового двійника транспортної системи є: шар збору даних (сенсорні мережі, відеоспостереження, GNSS-трекери), шар інтеграції та обробки (хмарні платформи, edge computing), шар аналітики (ML-алгоритми, агентні симуляції) та шар прийняття рішень (системи адаптивного управління) [2]. Провідний досвід міст Сінгапуру, Барселони та Хельсінкі підтверджує ефективність даної архітектури: скорочення часу поїздок до 20–25%, зменшення викидів CO<sub>2</sub> транспортним сектором на 15–18% [5].

Оптимізація транспортних потоків у парадигмі ШІ реалізується через три взаємопов'язані стратегічні напрями.

Адаптивне управління світлофорними об'єктами (ATSC). Застосування алгоритмів глибокого навчання з підкріпленням (Deep Reinforcement Learning) дозволяє динамічно перерозподіляти тривалість фаз сигналу залежно від інтенсивності потоку [4]. Дослідження демонструють скорочення середнього часу очікування на перехрестях на 32–40% порівняно з фіксованими циклами.

Предиктивне маршрутизування та управління попитом. Моделі LSTM (Long Short-Term Memory) та трансформерні архітектури забезпечують прогнозування завантаженості мережі з горизонтом до 60 хвилин із точністю MAE < 5% [5]. Інтеграція з навігаційними сервісами та системами MaaS (Mobility as a Service) дозволяє проактивно перерозподіляти потоки, уникаючи виникнення заторів.

Мультиагентна координація транспортних засобів. У контексті підключених та автономних транспортних засобів (CAV) мультиагентні системи ШІ координують поведінку автопарку на рівні коридорів та вузлів мережі, оптимізуючи пропускну здатність та мінімізуючи аварійність [4].

Під час інтеграції цифрові двійники проходять шість рівнів зрілості, що охоплюють шлях від створення простої віртуальної копії до повної автономності та взаємодії між різними системами [2]. Ці рівні можна підсумувати наступним чином:

1. Етап реплікації активів. На цьому початковому етапі створюється точна віртуальна репліка об'єкта (наприклад, транспортного засобу). Це особливо актуально на фазах проектування та розробки для створення прототипів.

2. Зв'язок моделей та систем дозволяє фіксувати та моделювати вплив реальних подій на основі історичних даних. Це дає можливість тестувати різні конфігурації та сценарії розвитку подій.

3. Синхронізація даних і процесів забезпечує відображення змін із фізичного світу в цифровий у режимі реального часу. Це дозволяє, наприклад, виявляти перебої в дорожньому русі та здійснювати дистанційний моніторинг об'єктів.

4. Взаємодія між цифровим двійником та активом забезпечує двонаправлений обмін даними, що дозволяє користувачеві не лише отримувати інформацію, а й дистанційно видавати команди керування фізичним активом.

5. Автоматизація процесів. На цьому рівні система здатна приймати автономні рішення щодо експлуатації та технічного обслуговування на основі аналізу даних у реальному часі та історичних моделей. Досягнення цього рівня робить транспортні засоби або системи автономними.

6. Взаємодія між цифровими двійниками (Інтероперабельність) – найвищий рівень зрілості, що передбачає обмін інформацією та знаннями між різними цифровими двійниками. Це дозволяє спільно приймати рішення в межах всієї екосистеми, наприклад, для управління автопарком або координації руху автомобілів у колоні.

Більшість сучасних рішень у сфері цифрових двійників наразі досягли 3-го рівня (моніторинг у реальному часі), тоді як системи 5-го рівня вже починають з'являтися в закритих середовищах для обмеженої автономної роботи.

На основі аналізу міжнародного досвіду (Барселона, Амстердам, Токіо, Сінгапур, Дубай) визначено пріоритетні стратегічні напрями для українських міст:

- поетапна цифровізація транспортної інфраструктури з пріоритетом вузлових перехресть та мультимодальних центрів;
- розбудова захищеної міської дата-платформи на засадах відкритих даних (Open Data) для стимулювання екосистеми стартапів;
- впровадження мобільності як послуги (MaaS) з єдиним цифровим квитком для усіх видів транспорту;
- розвиток системи управління попитом через динамічне ціноутворення та пріоритизацію екологічно чистих видів транспорту;
- створення регуляторних «пісочниць» для пілотування автономного транспорту та технологій CСAM.

Комплексне впровадження зазначених заходів забезпечує: скорочення часу поїздки у пікові години на 20–35 %; зниження операційних витрат на утримання транспортної інфраструктури на 18–25 %; зменшення викидів CO<sub>2</sub> від міського транспорту на 15–30 %; підвищення рівня безпеки дорожнього руху (зниження кількості ДТП на 25–40 %).

Синергія цифрових двійників та штучного інтелекту формує новий технологічний уклад управління міською мобільністю, що переводить транспортні системи від реактивного до проактивного режиму функціонування. Для України стратегічне значення має не лише підвищення ефективності наявної інфраструктури, а й створення конкурентоспроможного цифрового середовища для повоєнного відновлення та розбудови стійких «розумних» міст відповідно до стандартів ЄС.

## **Література**

1. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Springer, 2017. P. 85–113.
2. Integration of digital twins into transport management systems / V. Pavlenko et al. Journal of Mechanical Engineering and Transport. 2026. Vol. 22, no. 2. P. 42–50. URL: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2025-22-2-42-50> .
3. ITU-T Focus Group on Smart Sustainable Cities. Smart Sustainable Cities: An Analysis of Definitions. International Telecommunication Union, 2014. 17 p. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ssc/pages/default.aspx> .
4. Wei H., Chen C., Zheng G. et al. CoLight: Learning Network-level Cooperation for Traffic Signal Control. Proceedings of CIKM 2019. P. 1913–1922.
5. Zheng Y., Capra L., Wolfson O., Yang H. Urban Computing: Concepts, Methodologies, and Applications. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology. 2014. Vol. 5(3). P. 1–55.

УДК 004.8

## **ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ЛОГІСТИЦІ: ВПЛИВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**Костюк Станіслав Юрійович**, асистент,

**Орел Ярослав Олександрович**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: stanislavkostuk@nubip.edu.ua

В умовах стрімкого розвитку цифрової економіки транспортна логістика зазнає значних змін, зумовлені впровадженням сучасних інформаційних технологій. Одним із найбільш перспективних напрямів є використання технологій штучного інтелекту, які дозволяють суттєво підвищити ефективність управління транспортними та логістичними процесами. Використання інтелектуальних систем стає важливим чинником підвищення конкурентоспроможності підприємств транспортної галузі.

Одним із ключових напрямків застосування штучного інтелекту є оптимізація маршрутів транспортних засобів. Сучасні алгоритми машинного навчання здатні враховувати велику кількість факторів, включаючи дорожню ситуацію, погодні умови, завантаженість транспортної мережі та тимчасові обмеження доставки. Це дозволяє формувати найефективніші маршрути, знижуючи час перевезення та транспортні витрати. Важливу роль грає використання технологій прогнозу аналітики. На основі аналізу історичних даних та поточних тенденцій штучний інтелект дозволяє прогнозувати обсяги вантажоперевезень, виявляти сезонні коливання попиту та оптимізувати розподіл ресурсів. Це сприяє більш раціональному використанню транспортних засобів та зниженню витрат на їх експлуатацію. Ще одним напрямом застосування штучного інтелекту є автоматизація складських та логістичних операцій. Інтелектуальні системи керування складом забезпечують оптимальне розміщення вантажів, прискорюють процеси комплектації замовлень та

мінімізують помилки. Використання роботизованих систем та автономних транспортних засобів на складах підвищує продуктивність та знижує вплив людського фактора. Особливе значення має застосування штучного інтелекту в системах моніторингу та управління транспортом. За допомогою телематичних рішень та систем аналізу даних у реальному часі забезпечується контроль за станом транспортних засобів, дотриманням маршрутів та умов перевезення. Це дозволяє своєчасно виявляти відхилення та приймати оперативні управлінські рішення.

Використання штучного інтелекту у транспортній логістиці є важливим напрямом розвитку галузі. Інтелектуальні технології дозволяють оптимізувати логістичні процеси, підвищити ефективність використання ресурсів та покращити якість транспортного обслуговування, що зрештою сприяє сталому розвитку транспортних систем.

### **Література**

1. Експерти складської логістики. Як штучний інтелект полегшить роботу логістів? [Електронний ресурс]. - Haski.ua, 2024. - Режим доступу: <https://haski.ua/blog/yak-shtuchnyj-intelekt-polegshyt-robotu-logistiv>

УДК 656, 658.7

## **ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**Лемішко Дар'я Сергіївна**, асистент,  
**Катреча Ян Олександрович**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
e-mail: [lemishko.dasha@nubip.edu.ua](mailto:lemishko.dasha@nubip.edu.ua)

Сучасний розвиток транспортних технологій тісно пов'язане з процесами цифровізації, що охоплюють усі сфери економіки. Транспортна логістика, будучи найважливішим елементом системи руху товару, відчуває значний вплив цифрових рішень, спрямованих на підвищення ефективності, прозорості та керованості перевезень. В умовах зростання обсягів вантажопотоків та ускладнення логістичних ланцюгів впровадження цифрових технологій стає необхідною умовою забезпечення конкурентоспроможності транспортних систем. Одним із ключових напрямів цифровізації транспортної логістики є впровадження інтелектуальних транспортних систем, що забезпечують збирання, обробку та аналіз даних у режимі реального часу. Використання таких систем дозволяє оптимізувати маршрути руху транспортних засобів, враховувати поточну дорожню обстановку, знижувати витрати часу на доставку вантажів та підвищувати рівень транспортного обслуговування. Застосування супутникових навігаційних систем та телематичних технологій забезпечує контроль за рухом транспортних засобів, що сприяє зниженню ризиків та підвищенню безпеки перевезень.

Важливу роль цифровізації логістичних процесів грає використання технологій великих даних, і аналітичних платформ. Обробка значних масивів

інформації дозволяє виявляти закономірності у транспортних потоках, прогнозувати попит на перевезення та приймати обґрунтовані управлінські рішення. В результаті досягається ефективніше використання транспортних ресурсів та зниження експлуатаційних витрат. Так само значним напрямом є використання автоматизованих систем управління складськими і транспортними операціями. Такі системи забезпечують синхронізацію процесів зберігання, обробки та доставки вантажів, що дозволяє мінімізувати тимчасові та фінансові витрати. Інтеграція інформаційних систем різних учасників логістичного ланцюга сприяє формуванню єдиного інформаційного простору, підвищуючи прозорість та координацію взаємодії.

Таким чином, цифровізація транспортної логістики є найважливішим чинником підвищення ефективності перевезень вантажів. Впровадження сучасних цифрових технологій дозволяє оптимізувати логістичні процеси, знизити витрати та підвищити якість транспортного обслуговування, що зрештою сприяє сталому розвитку транспортної системи загалом.

### **Література**

1. Марченко В. М., Шутюк В. В. Логістика : підручник. - 2-ге вид., доповн. Київ : НУХТ, 2022. 334 с.
2. Pokusa M., Ohienko M., Zagurskiy O. et al., Logistics in conditions of uncertainty. Monograph. Opole: Academy of Applied Sciences Academy of Management and Administration in Opole, 2024, 290.
3. Zagurskiy O., Pokusa T., Duczmal M., Ohienko M., Zagurska S., Titova L., Rogovskii I. Ohienko A. Supply chain logistics service system: methods and models of its optimization. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2022, 192.

**СЕКЦІЯ**  
**ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ**  
**ТА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ**

УДК 629.33:004

**ПРЕДИКТИВНЕ ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЯК ОСНОВА**  
**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

**Степанов Олексій Вікторович, д.т.н., професор,**  
**Сліпуха Тетяна Іванівна, асистент**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*  
e-mail: o.stepanov@nubip.edu.ua

Забезпечення надійності транспортних засобів є одним із ключових завдань сучасної транспортної галузі, оскільки від технічного стану рухомого складу залежить безпека дорожнього руху, ефективність перевезень та економічні показники діяльності автотранспортних підприємств. Традиційні підходи до технічного обслуговування, що базуються на регламентованих інтервалах або реагуванні на відмови, не забезпечують необхідного рівня надійності в умовах зростаючої складності транспортних систем і інтенсивності їх експлуатації.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває концепція предиктивного технічного обслуговування (Predictive Maintenance), яка передбачає використання цифрових технологій для прогнозування технічного стану транспортних засобів і запобігання відмовам ще до їх виникнення. Такий підхід дозволяє перейти від реактивної моделі обслуговування до превентивної, що суттєво підвищує надійність та ефективність експлуатації транспортних засобів [1; 2].

Метою даної роботи є дослідження особливостей впровадження предиктивного технічного обслуговування, визначення його впливу на надійність транспортних засобів та обґрунтування перспектив застосування у транспортній галузі.

Предиктивне технічне обслуговування являє собою систему управління технічним станом об'єктів, що базується на аналізі даних про їх експлуатацію, технічні параметри та умови роботи з метою прогнозування можливих відмов. Основою такого підходу є використання сенсорних технологій, систем збору даних, аналітичних платформ і алгоритмів машинного навчання.

На відміну від традиційних методів, предиктивне обслуговування передбачає:

- безперервний моніторинг технічного стану;
- аналіз тенденцій зміни параметрів;
- прогнозування часу виникнення відмови;
- планування технічного обслуговування з урахуванням фактичного стану вузлів і агрегатів.

Такий підхід дозволяє значно зменшити ймовірність аварійних ситуацій і забезпечити більш ефективне використання ресурсів [3].

Реалізація предиктивного технічного обслуговування базується на комплексному використанні сучасних цифрових технологій:

#### 1. Сенсорні системи та Інтернет речей (IoT)

Використання датчиків дозволяє збирати інформацію про технічний стан транспортного засобу в реальному часі (температура, вібрація, тиск, знос деталей). Дані передаються до аналітичних систем для подальшої обробки.

#### 2. Системи телематики

Телематичні рішення забезпечують збір і передачу даних про роботу транспортного засобу, включаючи режими руху, навантаження, витрати пального та поведінку водія.

#### 3. Аналітика великих даних та машинне навчання

Застосування алгоритмів машинного навчання дозволяє виявляти приховані закономірності в даних, прогнозувати відмови та визначати оптимальні терміни технічного обслуговування [4].

#### 4. Хмарні обчислення

Хмарні платформи забезпечують зберігання та обробку великих обсягів даних, що дозволяє масштабувати системи предиктивного обслуговування та забезпечити доступ до інформації з будь-якої точки.

#### 5. Цифрові двійники

Створення цифрових моделей транспортних засобів дозволяє моделювати їх роботу та прогнозувати технічний стан на основі реальних даних експлуатації.

Впровадження предиктивного технічного обслуговування суттєво впливає на показники надійності транспортних засобів.

Дослідження показують, що використання предиктивних моделей дозволяє знизити витрати на ремонт до 20–30 %, а також зменшити кількість аварійних відмов на 25–40 % [2; 5].

Крім того, предиктивне обслуговування сприяє підвищенню ефективності використання рухомого складу, оскільки дозволяє уникати незапланованих простоїв і забезпечує своєчасне виконання перевезень.

Незважаючи на значні переваги, впровадження предиктивного технічного обслуговування супроводжується рядом проблем. Однією з основних є висока вартість впровадження систем, що включає придбання сенсорного обладнання, програмного забезпечення та створення відповідної інфраструктури.

Іншою проблемою є необхідність обробки великих обсягів даних, що потребує значних обчислювальних ресурсів і ефективних алгоритмів аналізу. Недостатня якість або неповнота даних може знижувати точність прогнозів і обмежувати ефективність системи.

Суттєвим фактором є також кадрове забезпечення. Впровадження предиктивних систем потребує фахівців, які володіють знаннями у сфері інформаційних технологій, аналізу даних та експлуатації транспортних засобів.

Проблеми інтеграції з існуючими системами управління також можуть ускладнювати впровадження нових технологій. У багатьох випадках необхідно модернізувати наявну інфраструктуру або адаптувати її до нових умов.

Перспективи розвитку предиктивного технічного обслуговування пов'язані з удосконаленням алгоритмів штучного інтелекту, розвитком технологій Інтернету речей та цифрових двійників. Очікується, що в майбутньому системи предиктивного обслуговування стануть невід'ємною частиною управління транспортними засобами.

Особливе значення має інтеграція предиктивних систем з іншими інформаційними системами підприємства, що дозволить забезпечити комплексний підхід до управління ресурсами та підвищити ефективність функціонування транспортних систем.

Предиктивне технічне обслуговування є перспективним напрямом підвищення надійності транспортних засобів та ефективності їх експлуатації. Використання сучасних цифрових технологій дозволяє перейти від традиційних методів обслуговування до інтелектуальних систем, що забезпечують прогнозування технічного стану та запобігання відмовам.

Незважаючи на існуючі проблеми впровадження, перспективи розвитку предиктивного обслуговування є значними і визначають подальший розвиток транспортної галузі. Комплексне застосування інтелектуальних технологій створює передумови для підвищення надійності, безпеки та ефективності транспортних засобів.

### **Література**

1. Коваленко В. І. Технічне обслуговування транспортних засобів: сучасні підходи. Київ: НТУ, 2022.
2. Бойко Г. В. Цифровізація технічного обслуговування транспортних систем. Транспортні системи і технології, 2023, № 21, с. 60–68.
3. Птиця Г. Г., Абрамова Л. С. Аналіз підходів до реалізації системи управління безпекою дорожнього руху в Україні. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, 2024, № 17, с. 33–41.
4. European Commission. Predictive Maintenance in Transport Systems. Brussels, 2022.
5. OECD. Digital Maintenance and Reliability in Transport. Paris, 2021.

UDC 621

### **ANALYTICAL RELATIONSHIPS FOR DETERMINING THE SPEED OF VEHICLES BASED ON THE LAWS OF CONSERVATION OF ENERGY AND MOMENTUM**

**Mamuka Benassi**, PhD., Professor  
*Georgian Agricultural Institute*  
e-mail: benashvili@up.tbilisi.ge

The method is based on determining the energy cost of moving the vehicle when replot after the collision. It is known from theoretical mechanics, the amount of traffic some of the system will be constant in magnitude and direction if the resultant

vector of external forces acting on system is zero.

Vector resultant momentum of the two cars before the collision and after it remains unchanged in magnitude and direction.

Consequently, the parallelogram built on the vectors of momentum of the cars before the collision and after it, will have a common diagonal, is a vector of the resultant momentum of the car at the time of their collision (Fig. 1).

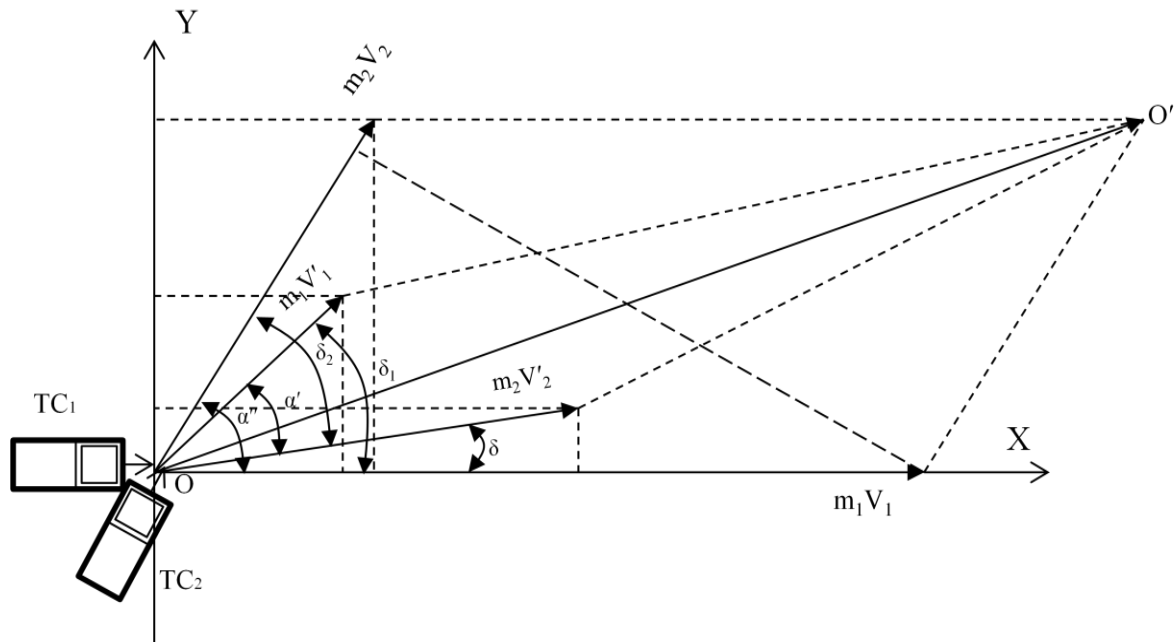


Fig. 1. Relationship of vectors of momentum of vehicles before and after collision.

All the main parameters of the collision process can be divided into two groups: parameters that determine the change in the rate of movement of the vehicle, and the parameters that determine the mutual positions them at the moment of impact. The main parameters that determine the change in speed and direction of movement of the vehicle, include the following values:

- speed of vehicles at the time of initial contact in the collision  $V_1$  and  $V_2$ ;
- speed of the vehicles immediately after impact  $V'_1$  and  $V'_2$ ;
- the angle between the directions of motion at the moment of impact (angle of incidence)  $\alpha$ ;
- the deflection angle of the direction of movement of vehicles after impact (tilt angle)  $\delta_1, \delta_2$ ;
- the angle between the directions of travel of vehicles after impact (divergence angle)  $\alpha'$ ;
- the angle between the directions of movement of the vehicle 1 before the collision and the vehicle 2  $\delta$  after its.

To determine the speed of the vehicle directly before traffic accidents it is necessary to choose coordinate axes so that the origin passes through the point of contact of V. the Axis OX will direct in the direction of motion of the vehicle 1 to the vehicle collision, the axis OY perpendicular to the OX axis. The vector momentum before the collision will move through their action at the origin of coordinates. On the

basis of the law of conservation of momentum are:

$$\overline{m_1 * V_1} + \overline{m_2 * V_2} = \overline{m_1 * V'_1} + \overline{m_2 * V'_2} = const, \quad (1)$$

where:  $m_1$  and  $m_2$  – masses of vehicles 1 and 2;  $V_1$  and  $V_2$  – speed of vehicles vehicle 1 and vehicle 2 to the collision,  $V'_1$  and  $V'_2$  – speed vehicles, vehicle 1 and vehicle 2 after the collision.

Projecting the vectors of momentum on the coordinate axis. In projections on the axis OX of the equation (1) takes the form:

$$\overline{m_1 * V_1} + \overline{m_2 * V_2} * \cos \alpha'' = \overline{m_1 * V'_1} * \cos \delta_1 + \overline{m_2 * V'_2} * \cos \delta_2. \quad (2)$$

In projection onto the axis OY

$$0 + \overline{m_2 * V_2} * \cos 90 - \alpha'' = \overline{m_1 * V'_1} * \cos 90 - \delta_1 + \overline{m_2 * V'_2} * \cos 90 - \delta_2, \quad (3)$$

or

$$\overline{m_2 * V_2} * \sin \alpha'' * \overline{m_1 * V'_1} * \sin \delta_1 * \overline{m_2 * V'_2} * \sin \delta_2, \quad (4)$$

Equations (3) and (4) determine the relationship of vectors of momentum in the chosen coordinate system.

Speed of vehicles  $V'_1$  and  $V'_2$  after the collision can be determined on the basis of the law of conservation of energy, based on the equality of the kinetic energy of the vehicle at the expansion stage and the work of the forces to overcome the resistance to movement of the vehicle on the way of expansion to a full stop, but it:

$$\frac{m * V^2}{2} = m * g * \varphi * S, \quad (5)$$

where:  $m$  – vehicle mass, kg;  $g$  – acceleration of free fall,  $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$ ,  $\varphi$  – coefficient of adhesion in transverse direction,  $V$  – velocity of vehicle, m/s,  $S$  – path of expansion of the vehicle after the collision, m.

Then  $TN_1$ :

$$V'_1 = \sqrt{\frac{2}{m_1} A_1} = \sqrt{\frac{2 * 12.96 * m_1 * g * S_1}{m_1}} = \sqrt{254 * \varphi * S_1}, \quad (6)$$

Similarly for  $TN_2$ :

$$V'_2 = \sqrt{254 * \varphi * S_2}, \quad (7)$$

Knowing the angles between the directions of movement and angles of deflection (installed from the analysis of schemes of road accidents) (4) determine  $V_2$ , and then from (2) –  $V_1$ .

Despite the obvious physical nature of this method of determining speed, it is not always used in expert practice. The reasons for this are related to more complex calculations in comparison with the second method. However, the method is considered to be the most "viable" market autoexperts, because it is relatively simple to implement, does not depend on explanations of participants of road accidents, does not require the vehicle to an expert examination - enough photo. The latter point is important, because it often happens that the examiner is required to permit inspection of the vehicle in the investigator or the judge, because the owners in most cases, object to inspection, but it delays the execution time of examination (for the law expert on the execution of the examination is given 30 days).

The analysis of numerous expert tasks carried out by the described method, showed that the vast majority of experts in the reconstruction of traffic accidents does not take into account the availability on the paths of movement of the vehicle before

and after the collision different kinds of threshold obstacles, and the actual pivot angle of vehicles at impact. This is due to contradictory opinions on the importance of accounting for lack of evidence-based information about the role of factors of turn of the vehicle after the collision and contact with the threshold obstacle to the formation of the total energy cost of extinguishing the kinetic energy of the vehicle at road traffic accidents.

UDC 311.313:629.33(477.64)

## **METHODS OF POWER LINE DEPLOYMENT IN ROAD TRANSPORT NETWORKS**

**Xin Du**, PhD., Assistant of Professor,  
*Xinxiang University, Xinxiang, China,*  
e-mail: 51969926@qq.com

The electro-spark deposition (ESD) is used as a traditional surface enhancement method [1]. Lazarenko B. and Lazarenko N. initiated the processing theory, which is now widely used in surface machining processes.

Since metallurgical bonding can be achieved on metal surfaces through electro-spark discharge [2], ESD can harden metal surfaces and improve their wear resistance and fatigue strength. It is widely used in the generation of surface coatings on metals. The ESD can achieve strengthening on the metal surface, such as carburization, nitriding, sulphurisation, nitrocarburisation and aluminized surface [3].

Viacheslav Tarelnyk investigated the carbonization process using discharge energy and graphite powder. Karavaev studied surface wear resistance with the current and the number of machining cycles in ESD. Shevchenko analyzed the ultrasound method in the process of carburizing.

The 45 steel had low cost and good overall mechanical properties but had poor wear resistance.

The carburizing process was carried out by adding carbon to the surface layer of the metal, which formed a high-strength carbide. The carburizing furnace was used by adding gas, liquid, or solid in the traditional carburizing process.

The metal was heated to a certain temperature, maintained a particular time to achieve, and carburized. For large equipment, carburizing required special large equipment and high costs. For some specific structures, it was even hard to carburize. ESD carburizing can be carried out on the surface of large machinery and equipment outdoors without the special carburizing furnace.

The carburizing process was studied using graphite electrodes to improve the wear resistance of 45 steel. It is particularly advantageous for agricultural machinery, pumps, and mechanical tools. These machines are often made from 45 steel, which is a good value for money and is used as the base material.

First, No. 45 steel with a size of 25\*30mm and 2mm thick was used as a sample. Then, the surface was sanded separately using 600-grit sandpaper to remove the oxidized layer and impurities. The surface was cleaned with 99% ethanol.

Finally, a high-speed ESD repair machine (fig.1 Huimite HMT9500, China) was used for carburizing the 45 steel surface. The 3mm diameter graphite rod was used as an electrode, and Argon was used as a shielding gas. A 4-factor and 4-level test was carried out using a Taguchi OA factorial design. The process parameters are shown in Table 1.



Fig. 1. The high-speed ESD repair machine (HMT9500)

Table 1 The ESD carburizing process parameters

No.	Efficiency (%) A	Voltage (V) B	Current Frequency (Hz) C	Time (s) D
1	20(1)	25(1)	100(1)	120(1)
2	30(2)	35(2)	180(2)	240(2)
3	40(3)	45(3)	260(3)	360(3)
4	50(4)	55(4)	340(4)	480(4)

Electro-spark deposition is a green manufacturing method which is more energy-efficient than traditional heat treatment methods and has minimal environmental pollution. ESD enables rapid carburization of metal surfaces by the graphite electrode. Thus, the wear resistance property of the metal surface is improved. ESD can carburize the surface of large steel structure parts in agriculture, improving wear resistance and service life. The traditional carburizing process costs much money and is difficult to achieve. ESD carburizing can save much money and even carburize the partial surface of the part. The traditional carburizing process cannot achieve these. This research employed rapid ESD equipment with rotary electrodes for the surface carburization of No.45 steel.

### References

1. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 3 (5(105)). P. 19-29. doi:10. 15587/1729-4061.2020.206073.
2. Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskiy M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezoviy M., Shatrov R. Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher.

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 4(7(112)). P. 41–49.  
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.

3. Rogovskii I. L., Sivak I. M. Research of microdeformation and stress in details of agricultural machines by implementing holography. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677. P. 052038.

УДК 621.43

## ГАЗОВІ ПАЛИВА ЯК АЛЬТЕРНАТИВНИЙ ВИД ПАЛИВА

**Корпач Анатолій Олександрович**, к.т.н, професор,  
e-mail: akorpach@ukr.net

**Домбровський Олег Генадійович**, аспірант,  
e-mail: odombrovskiy@gmail.com

**Романенко Євген Сергійович**, студент,  
e-mail: romanenkoe707@gmail.com

*Національний транспортний університет*

*Вступ:* У зв'язку зі стрімким зростанням світового виробництва автомобілів та їх загальною кількістю, яка на сьогодні становить приблизно 1,6 млрд одиниць, людство стикається зі зростаючим попитом на вичерпні енергетичні ресурси, що використовуються, як паливо для транспорту. Це зумовлює необхідність пошуку альтернативних джерел енергії, здатних забезпечити стабільне функціонування транспортної галузі та водночас зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

### Видобуток сланцевого газу

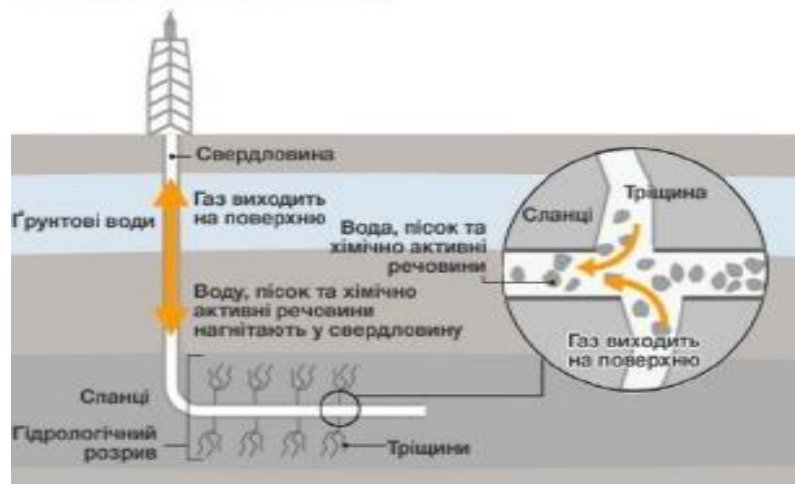


Рисунок 1. Схема видобутку сланцевого газу горизонтальним бурінням [1]

Одним із таких перспективних джерел є газові палива природний газ, сланцевий газ та біогаз. Сланцевий газ різновид природного газу, що міститься у незначних кількостях в низькопористих і погано проникних глинисто-алевритових осадових гірських породах на глибинах від 1 до 5-6 км. За своїми хімічними властивостями сланцевий газ практично не відрізняється від традиційного природного газу. Основним компонентом є метан ( $\text{CH}_4$ ) його частка

може становити 85-95 %. Також у складі можуть бути етан ( $C_2H_6$ ), пропан ( $C_3H_8$ ), бутан ( $C_4H_{10}$ ), незначні домішки азоту, вуглекислого газу та сліди сірководню. Метан є безбарвним, без запаху газом, легшим за повітря, має високу теплотворну здатність (близько 34–38 МДж/м<sup>3</sup>) та згорає з утворенням переважно водяної пари і вуглекислого газу. Завдяки високому октановому числу (понад 100 од.) природний газ є ефективним моторним паливом для двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ). Видобуток сланцевого газу суттєво відрізняється від традиційного газовидобування. Через низьку проникність сланцевих порід газ не може вільно переміщуватися до свердловини, тому застосовуються спеціальні технології. Основними методами є горизонтальне буріння та гідророзрив пласта. Спочатку буриться вертикальна свердловина, яка на глибині переходить у горизонтальну ділянку довжиною до кількох кілометрів у межах продуктивного пласта. Далі під високим тиском у пласт закачують воду з піском та спеціальними добавками. У результаті утворюються мікротріщини, які утримуються піском, що дозволяє газу вільно надходити до свердловини [1].

Україна має значний ресурсний потенціал в секторі нетрадиційних вуглеводнів, в тому числі і сланцевого газу які зосередженні переважно у двох основних геологічних басейнах: Дніпровсько-Донецькому та Люблінському (Одеська ділянка). Найбільші прогнозні ресурси пов'язані з Дніпровсько-Донецьким басейном, які оцінюються приблизно у 4,22 трлн м<sup>3</sup>. Люблінський басейн (Одеська площа), розташований у західному регіоні України, оцінюється приблизно у 1,36 трлн м<sup>3</sup> [2].



Рисунок 2. Карта родовищ сланцевого газу в Україні[2]

Біогаз отримують із відновлюваних ресурсів (відходи тваринництва, сільського та лісового господарств) методом анаеробного бродіння, а після очистки отримується біогаз з вмістом метану до 99,99% -біометан. Для використання газового палива, як палива, достатньо переобладнати звичайний бензиновий ДВЗ. Різниця між бензиновим та газовим ДВЗ полягає у деяких елементах системи живлення: газ зберігається в спеціальних резервуарах(балонах) під тиском 20-25 МПа та заповнює їх не більше ніж на 80% від загального об'єму, щоб залишити місце для розширення газу при зміні

температури. Безпеку системи забезпечують мультиклапани з електромагнітними та ручними затворами, які перекривають подачу палива у разі аварії або тривалої стоянки. З балона, газ під тиском подається до регулятора (редуктора). Його головне завдання- знизити тиск приблизно до 1 бару. Далі паливо низького тиску спрямовується до паливної рампи, де розташовані газові форсунки. Залежно від конструкції двигуна форсунки впорскують газ безпосередньо у впускний трубопровід, або через спеціальні підвідні трубки.

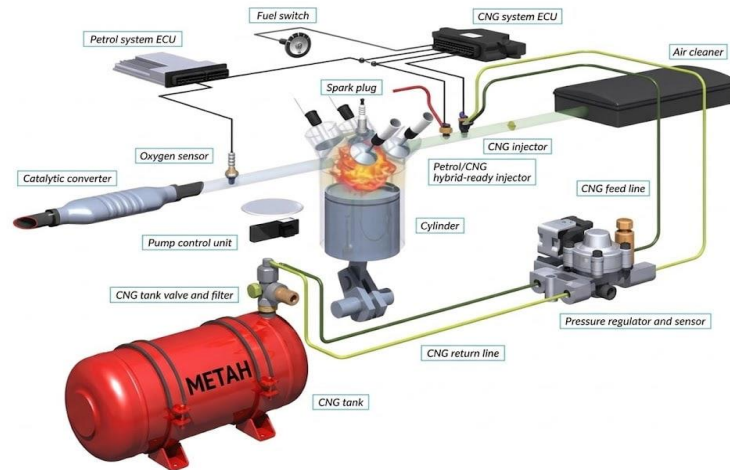


Рисунок 3. Схема система живлення газовим паливом [3]

В Національному транспортному університеті проведені дослідження переобладнаного легкового автомобіля за роботи на газоподібному паливі за режимами Європейського їздового циклу згідно Правил №83-04, отримані позитивні результати.

*Висновки:* Газоподібне паливо є перспективним альтернативним джерелом енергії для транспортної галузі України. Для України освоєння власних покладів сланцевого газу, що оцінюються у понад 5,5 трлн м<sup>3</sup> і зосереджені в Дніпровсько-Донецькому та Люблінському басейнах, будівництво анаеробних станцій відкриває шлях до значного зниження експлуатаційних витрат на транспорт. Попри складність видобутку сланцевого газу, що потребує технологій горизонтального буріння та гідророзриву пласта, адаптація існуючих автомобілів до нового палива є цілком доступною. Поряд з цим доцільно розвивати біогазові технології.

### Література

1. Горизонтальне буріння <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/may/2179/geodynamika152013064.pdf> (Дата звернення 31.03.2026 )
2. Родовища сланцевого газу [https://ukrrudprom.com/digest/CHi\\_spromogn\\_mi\\_protistoyati\\_antislantsevomu\\_nastupu.html?print](https://ukrrudprom.com/digest/CHi_spromogn_mi_protistoyati_antislantsevomu_nastupu.html?print) (Дата звернення 04.04.2026 )
3. Eure!TechFlash Injection System with LPG and CNG доступ: [https://www.eurecar.org/sites/default/files/2023-08/gb\\_etf\\_injection\\_systems\\_lpg\\_cng\\_20.pdf](https://www.eurecar.org/sites/default/files/2023-08/gb_etf_injection_systems_lpg_cng_20.pdf) (Дата звернення 04.04.2026 )

## DESIGN AND ANALYSIS OF A HIGH-PERFORMANCE TWO-STROKE V4 ENGINE

**Pavel Navitski**, Ph.D., Associate Professor

**Kyle Hesser**, Student

**Hayden Karnes**, Student

**Max Woods**, Student

*Oral Roberts University*

Email: pnavitski@oru.edu

*Abstract.* Research is conducted, and a design is proposed to fit an engine to a specified set of parameters, aiming to optimize overall output and durability. The task is to design a 2.0 L two-stroke V4 engine. Background research is presented, and a design is provided that meets the given constraints. Using Robert Norton's LINKAGES software, a virtual simulation of the designed engine is performed, and the results are tabulated in appropriate figures and graphs. Interpreting the data demonstrates a valid engine design that meets the appropriate criteria and leaves room for comparison with other designs or for pursuing manufacturing and testing as means of further research.

*Introduction and Background.* This report presents the design and analysis of a 2.0 L two-stroke V4 engine. The objective is to achieve the required displacement while balancing performance, dynamic behavior, and packaging constraints. Key design considerations include the bore-to-stroke ratio, inertial balance, and flywheel sizing to achieve smooth, efficient engine operation. These factors directly influence engine stability and overall performance under operating conditions. A 3D-printed slider-crank mechanism will also be developed based on the final engine dimensions to visualize piston motion and validate the design.

A two-stroke engine completes its cycle in two piston strokes, producing a power stroke every revolution and resulting in a high power-to-weight ratio. Intake and exhaust occur through overlapping ports, requiring effective scavenging to remove exhaust gases and introduce a fresh air-fuel mixture [3, 6]. The effectiveness of this scavenging process plays a major role in both engine efficiency and emissions performance.

Compared to four-stroke engines, two-stroke engines are more compact and powerful but less efficient and less durable [1]. These advantages and disadvantages must be considered when selecting an engine configuration for a given application, especially when weight and simplicity are prioritized.

The V4 configuration arranges four cylinders about a common crankshaft for a compact layout. This configuration allows for improved packaging and balance compared to inline arrangements. Engine displacement is defined by  $V = \frac{\pi d^2}{4} l$ , which determines the total volume based on cylinder geometry (Navitski, 2026). This relationship is fundamental in ensuring the design meets the required two-liter displacement.

This engine design is well-suited for applications where a high power-to-weight ratio and compact packaging are critical. Potential uses include small aircraft propulsion, unmanned aerial vehicles, and lightweight recreational or utility vehicles. The simplicity of the two-stroke cycle, combined with the compact V4 configuration, allows for reduced size and weight compared to traditional four-stroke engines, making it advantageous in transport systems where space and mass are limited.

*Design Description.* This engine project focuses on a two-stroke V4 engine. This engine uses a piston displacement of 2 liters or 122 cubic inches. According to Heywood [2], common bore-to-stroke ratios range from 0.8 to 1.2. Higher bore-to-stroke ratios are desirable for engines requiring higher fuel efficiency, as stated by Mubarak [4]. Given the engine's low efficiency, a high bore-to-stroke ratio was selected. This results in a bore size of 3.600 inches and a stroke size of 3.095 inches, yielding a bore-stroke ratio of 1.163. This information was input into the LINKAGES software to calculate the linkage. The output linkage is shown in Figure 1.

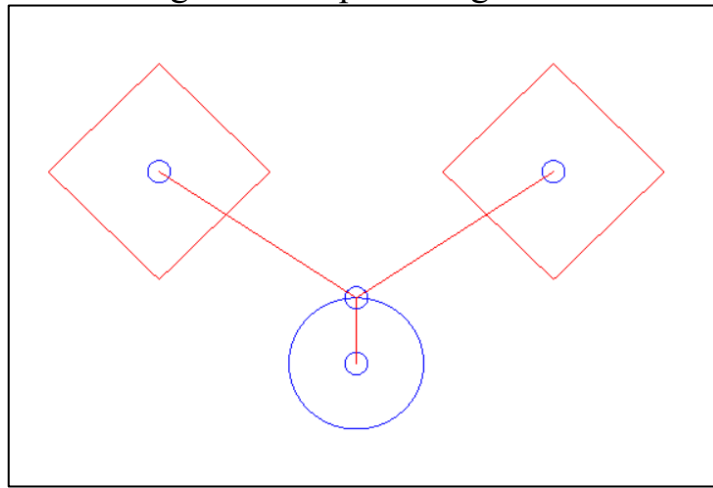


Figure 1: 2 Stroke V4 Engine Linkage Assembly Showing Two Pistons.

*Results.* The position, velocity, and acceleration of the piston relative to the crank angle were generated in the LINKAGES software developed by Robert Norton. This software enabled the engine's parameters to be specified, refined, and visualized. Figures 2-4 show the position, velocity, and acceleration curves required to continue the design for a fuel-efficient engine.

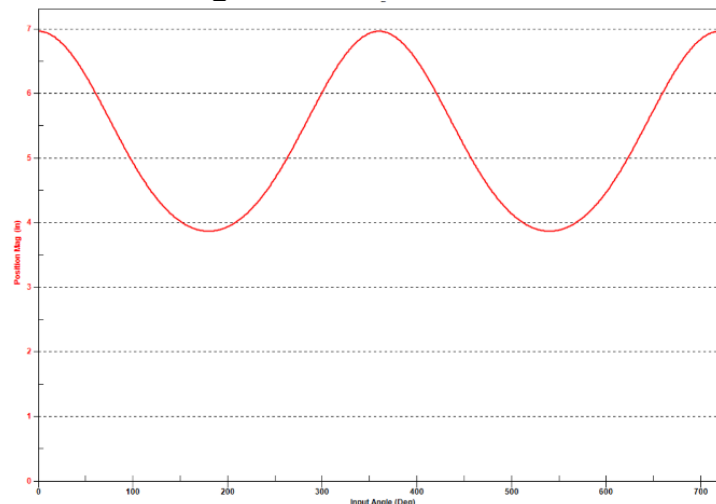


Figure 2: Piston Position as a Function of Crank Angle

The piston displacement plot shows the piston position as a function of crank angle over two revolutions. This curve verifies the correct stroke length and illustrates the non-sinusoidal motion caused by the connecting rod geometry. Understanding piston position is important for determining cylinder volume changes and overall engine operation.

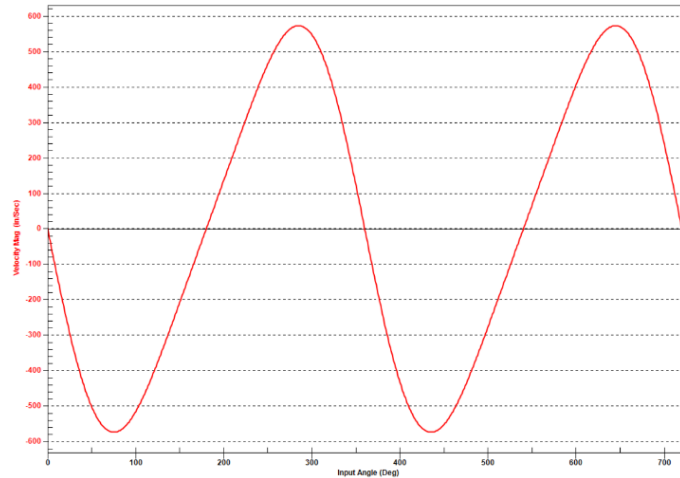


Figure 3: Piston Velocity as a Function of Crank Angle

The piston velocity plot represents the rate of change of piston position with respect to crank angle. The velocity reaches zero at top dead center (TDC) and bottom dead center (BDC), and peaks near mid-stroke. This information is important for analyzing airflow characteristics and timing in the engine cycle.

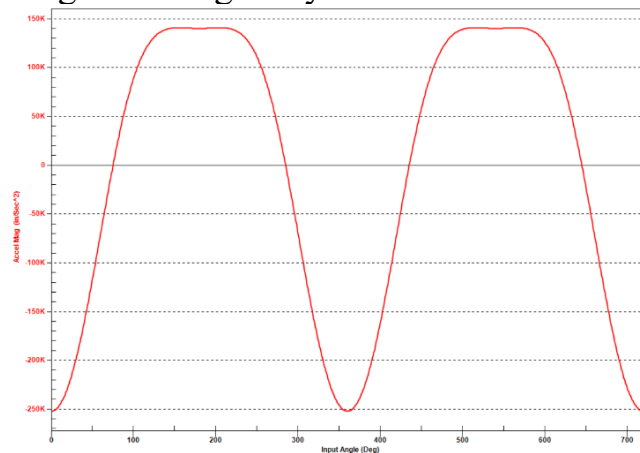


Figure 4: Piston Acceleration as a Function of Crank Angle

The piston acceleration plot shows the rate of change of velocity and highlights the inertial effects of the reciprocating components. Large acceleration peaks occur near TDC and BDC, indicating regions of high dynamic loading. This plot is critical for evaluating forces on engine components and for designing a system that minimizes vibration and mechanical stress.

Based on the kinematic and dynamic data obtained, the crankshaft for the single-cylinder engine was generated and balanced to operate the engine within acceptable vibration ranges for a model. Figure 5 shows the single-cylinder model required to balance the engine. The unbalanced forces generated during the motion of the cylinder

were reduced through the application of counterweights on the crankshaft. This will increase the engine's lifespan by minimizing the negative effects of vibration.

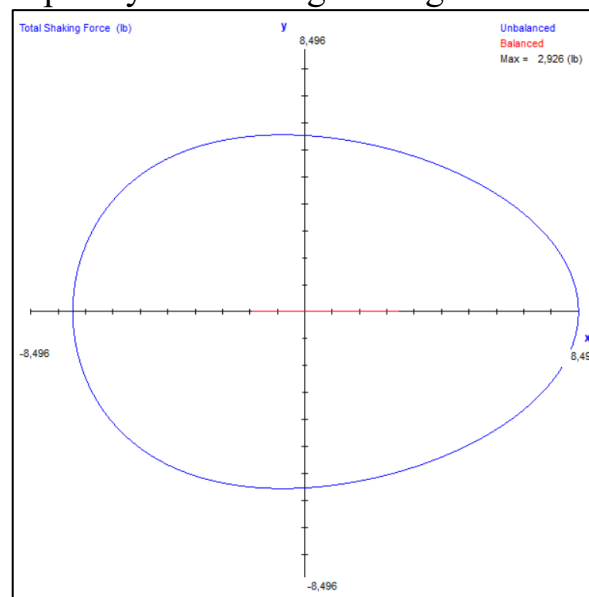


Figure 5: Balanced Crankshaft Profile for a Single Cylinder

For improved balance, the LINKAGES software recommends a counterweight of 0.028 lb-in applied at 180 degrees relative to the crank throw, with a crank radius of 1.547 inches. This configuration reduces the primary shaking forces generated by the piston and connecting rod.

*Application.* V-style engine designs have a reputation for their compact nature and versatility. Compared to bulkier engine designs, such as inline, horizontal, W, or radial, the V-style promotes better integration with complementary technologies and greater versatility. Add to this existing compactness the criteria of only 4 cylinders, a 2.0 L displacement, and a 2-stroke cycle, and the result is an engine that is a prime fit for motorcycles, marine engines, and light aircraft. Four-cycle engines would be heavier and larger for an efficient racing boat design, so using a lighter two-stroke engine could provide the desired high torque without the extra weight. Similarly, given the emphasis on weight and balance in aircraft design, one could use a 2.0 L two-stroke V4 engine on a smaller, lightweight aircraft for experimental purposes. Overall, the two-stroke V4 is simpler and easier to modify than a more complex design, such as a V12 or a Wankel engine.

*Conclusions.* From these results, it is inferred that the proposed engine design should meet the criteria that define the project's scope. Given the constraints, a two-stroke V4 engine with a 2.0 L displacement should work well in the provided design, as the output shows good oscillations in position, velocity, and acceleration. Not only that, but the applied balancing factored into the crankshaft's counterweight should make the engine more durable in the long-term of its use. Approximating values from the reported data, piston displacement varies between 3.9 and 7 inches, the maximum piston velocity is 580 in/sec, and the piston acceleration reaches its maximum at 140,000 in/sec<sup>2</sup> and its minimum at -250,000 in/sec<sup>2</sup>. These values provide a frame of reference for continued discussion in research and design of better models of similar engines.

To test the findings of the provided design, one may compare it and its resulting data with other designs from the same criteria to assess the respective strengths and weaknesses of both. A side-by-side comparison of two similar models of this engine would reveal trade-offs or overlap in the engine's strengths and weaknesses. For example, one engine's design may produce a more desirable output but lack balanced performance and long-term durability. Another way of verifying the practicality of such a design is to build a real-world model. Constructing and machining an engine in-person and testing its capabilities with real data may reveal design flaws or theoretical errors that simulations do not predict.

### References

1. Engineer Waqar. (2021, February 27). What is a 4-Stroke Engine? | How does a Four-Stroke Engine work? Mechanical Boost. [https://mechanicalboost.com/4-stroke-engine/#Disadvantages\\_of\\_Four-Stroke\\_Engine](https://mechanicalboost.com/4-stroke-engine/#Disadvantages_of_Four-Stroke_Engine)
2. Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engines fundamentals*. McGraw-Hill.
3. Marshall, B. (2004, November 2). How Two-Stroke Engines Work. HowStuffWorks.
4. Mubarak Alqahtani, A., & Mazurko, P. (2016) Investigation into the effect of bore/stroke ratio on a single cylinder two stroke opposed piston engine. *Journal of Kones. Powertrain and Transport*, 23(2), 9-16. <https://doi.org/10.5604/12314005.1213529>
5. Navitski, P. (2026, April 10). Engine Dynamics [Machines and Mechanisms Class at Oral Roberts University].
6. Xu, Z., Ji, F., Ding, S., Zhao, Y., Zhou, Y., Zhang, Q., & Du, F. (2021). Effect of scavenge port angles on flow distribution and performance of swirl-loop scavenging in 2-stroke aircraft diesel engine. *Chinese Journal of Aeronautics*, 34(3), 105–117. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.07.015>

УДК 629.3:631.3:658.58

## СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ САМОХІДНИХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ

**Новицький Андрій Валентинович**, к.т.н., доцент,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
e-mail: novytskyu@nubip.edu.ua

Сучасний етап розвитку тваринництва характеризується глибокою трансформацією виробничих процесів під впливом концепцій Індустрії 4.0, точного тваринництва та цифровізації аграрного сектору. Важливу роль у підвищенні ефективності галузі відіграють самохідні засоби для приготування і роздавання кормів (СЗПРК), які забезпечують автоматизацію технологічних операцій, оптимізацію раціонів та підвищення продуктивності тварин [1]. Водночас ускладнення конструкцій СЗПРК, зокрема техніки виробництва КУНН, зумовлює необхідність науково обґрунтованого вдосконалення систем їх технічного обслуговування і ремонту (СТОП) [2, 3].

Метою дослідження є обґрунтування теоретико-методичних підходів до формування інтегрованої системи технічного обслуговування і ремонту самохідних засобів приготування і роздавання кормів з урахуванням сучасних вимог цифровізації виробничих процесів.

Сучасні СЗПРК являють собою складні технічні системи, що інтегрують механічні, гідравлічні, електронні та інформаційні компоненти [4, 5]. Їх функціонування базується на використанні цифрових платформ управління, телеметрії, систем точного дозування та автоматизованого контролю параметрів технологічного процесу. Зазначені особливості обумовлюють необхідність переходу від традиційних підходів до технічного обслуговування до інтегрованих, багаторівневих систем управління технічним станом.

Систему технічного обслуговування і ремонту СЗПРК доцільно розглядати як ієрархічно організовану структуру, що включає експлуатаційний, спеціалізований сервісний та інженерно-технологічний рівні [6]. Така декомпозиція забезпечує функціональну завершеність системи, розмежування відповідальності та ефективну організацію інформаційних потоків.

Експлуатаційний рівень є базовим у забезпеченні працездатності технічних СЗПРК і передбачає виконання комплексу операцій, пов'язаних із безпосередньою експлуатацією машин. Його структура включає операторсько-технологічну, контрольню-діагностичну, регламентного обслуговування, експрес-діагностики та інформаційно-реєстраційну підсистеми. Для самохідних машин KUNN характерною є інтеграція функцій керування і контролю, що підвищує вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Спеціалізований сервісний рівень забезпечує реалізацію розширених функцій TOP з використанням спеціалізованого обладнання та програмно-апаратних засобів. До його складу входять сервісно-діагностична, ремонтно-відновлювальна, програмно-технічного супроводу, дистанційного моніторингу, логістична та організаційно-кадрова підсистеми. Для техніки KUNN цей рівень передбачає активне використання засобів телеметрії та дистанційної діагностики, що дозволяє підвищити оперативність прийняття рішень щодо технічного стану машин.

Інженерно-технологічний рівень орієнтований на стратегічне управління надійністю, ресурсом і розвитком технічних систем. Його функціональне наповнення включає підсистеми глибокої технічної діагностики, капітального ремонту, модернізації, аналітично-прогностичного забезпечення та нормативно-методичного супроводу. Реалізація зазначених функцій створює передумови для впровадження концепції прогностичного технічного обслуговування, що є особливо актуальним для високотехнологічних СЗПРК KUNN.

Таким чином, удосконалення СТОР СЗПРК повинно базуватися на інтеграції цифрових технологій, багаторівневій організації управління та застосуванні сучасних методів діагностики і прогнозування. Запропонований структурно-функціональний підхід до технічного обслуговування і ремонту дозволяє підвищити рівень надійності СЗПРК, знизити експлуатаційні витрати та забезпечити стабільність технологічних процесів у тваринництві.

### **Література:**

1. Postelga S. (2021). Self-propelled mixer-distributor siloking selfline 4.0 premium 2215 testing. *Agricultural machinery and equipment: forecasting, design, testing*. Edition 28 (42). 150-161. [http://www.ndipvt.com.ua/zbirnyk\\_2021\\_v1\\_12.html](http://www.ndipvt.com.ua/zbirnyk_2021_v1_12.html)
2. Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskiy, Yu., Kharkovskiy, I., & Antal, M. (2024). Examination of maintainability indicators of feed preparation and distribution products. *Machinery & Energetics*, 15(4), pp. 47–57. <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2024.47>
3. Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskiy, Yu., & Antal, M. (2023). A study of mixer-feeder equipment operational reliability. *Machinery & Energetics*, 14(4), pp. 101-110. DOI: <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2023.101>
4. Аулін В. В., Гриньків А. В., Головатий А. О. (2020). Кіберфізичний підхід при створенні, функціонуванні та удосконаленні транспортно-виробничих систем. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. №3(34). С. 331–343. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).331-343](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).331-343)
5. Novitskiy, A., Banniy, O., & Novitskiy, Yu. (2023). Logical-probabilistic model of the reliability of means for preparing and distributing fodder. *Machinery & Energetics*, 14(1). <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2023.57>
6. Новицький А.В. (2026). Цифровізація систем технічного сервісу обладнання годівлі тварин у контексті точного тваринництва: Обуховські читання: XX Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 30 березня 2026 року: тези конференції. НУБіП України. Київ. С. 76–78.

УДК 658.5.011

## **ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС АВТОМОБІЛІВ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ВИДАМИ ПАЛИВА**

**Тітова Людмила Леонідівна**, к.т.н., доцент,  
*Національний університет біоресурсів і природокористування*  
e-mail: [l\\_titova@nubip.edu.ua](mailto:l_titova@nubip.edu.ua)

Активний розвиток екологічного транспорту, посилення вимог до скорочення викидів парникових газів та інтеграція України до європейського транспортного простору зумовлюють поширення автомобілів з альтернативними видами палива. Це вимагає модернізації системи технічного сервісу та адаптації інфраструктури станцій технічного обслуговування (СТО).

Класифікація альтернативних видів палива. До них належать електроенергія (BEV), гібридні системи (HEV, PHEV), стиснений природний газ (CNG), скраплений нафтовий газ (LPG), зріджений природний газ (LNG), водень (FCEV), біопаливо. Найбільш поширеними є електромобілі та гібриди, виробництво яких здійснюють компанії Tesla, Toyota, Nissan.

Особливості технічного сервісу електромобілів. Основна увага приділяється діагностиці тягової батареї, інвертора, електродвигуна, системи керування батареєю (BMS). Відсутність двигуна внутрішнього згоряння зменшує обсяг регламентних робіт, проте підвищує вимоги до високовольтної безпеки персоналу.

ДВЗ vs ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ vs Гібрид		
ДВЗ	Електромобіль	Гібрид
 Джерело енергії: Бензин / дизель	 Джерело енергії: Акумулятор	 Джерело енергії: Паливо + електрика
 Регламент ТО: Частий	 Регламент ТО: Мінімальний	 Регламент ТО: Середній
 Витрати на ТО: Високі	 Витрати на ТО: ↓ 20–40 %	 Витрати на ТО: Середні
 Екологічність: Викиди CO <sub>2</sub>	 Екологічність: Нульові викиди	 Екологічність: Знижені викиди
 Вартість ремонту: Помірна	 Вартість ремонту: Висока	 Вартість ремонту: Вища за ДВЗ

Рис. 1. Порівняння: ДВЗ - Електромобіль – Гібрид

Сервіс гібридних автомобілів. Поєднує обслуговування традиційного ДВЗ та електричної частини, що ускладнює діагностику та потребує спеціалізованого програмного забезпечення.

Обслуговування газобалонних автомобілів (CNG, LPG). Передбачає контроль герметичності системи, перевірку балонів високого тиску, періодичну сертифікацію та суворе дотримання норм безпеки.

Впровадження сервісу альтернативних автомобілів потребує:

- модернізації обладнання СТО;
- навчання персоналу;
- запровадження цифрової діагностики;
- створення систем утилізації акумуляторних батарей.

Витрати на технічне обслуговування електромобілів є на 20–40 % нижчими порівняно з традиційними автомобілями, однак значні початкові інвестиції у спеціалізоване обладнання стримують швидке впровадження сервісу.

Технічний сервіс автомобілів з альтернативними видами палива характеризується переходом від механічних робіт до електронно-діагностичних процесів. Основними викликами є висока вартість обладнання, потреба у кваліфікованих кадрах та необхідність дотримання високих стандартів безпеки.

Подальший розвиток цієї сфери пов'язаний із цифровізацією сервісних процесів, розширенням зарядної та водневої інфраструктури та інтеграцією транспортних засобів у інтелектуальні транспортні системи.

### Література

1. Гриньків, А., Роговський, І., Аулін, В., Лисенко, С., Тітова, Л., Загурський, О., Колосок, І. (2020). Розробка системи визначення інформативності діагностичних параметрів циліндропоршневої групи в дизельному двигуні в процесі експлуатації. Східно-Європейський журнал підприємницьких технологій, 3 (5 (105)), 19-29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>

2. Біліченко В. В. Модель обґрунтування стратегій технічного розвитку виробництва на автомобільному транспорті / В. В. Біліченко, Є. В. Смирнов // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури : збірник наукових праць. – К. : НАУ, 2018. – Випуск 19. – С. 271–274.

УДК 629.113.004.67

## ОСНОВНІ ПРИЧИНИ ЗНОСУ ГАЛЬМІВНОЇ КОЛОДКИ

Загурський Андрій Олегович, аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України

e-mail:andreyzagurskiy1@gmail.com

В процесі гальмування транспортного засобу виникає термомеханічний ефект зчеплення контактної поверхні пари тертя гальма, в наслідок чого відбувається пошкодження поверхневого і підповерхневого шару гальмівного диску і колодки (рис 1). Це явище відбувається у будь якій гальмівній системі коли в залежності від збільшення температури суттєво зменшується коефіцієнт тертя [3], а гальмівний диск та колодки зношуються. Тобто знос гальмівної системи це складний динамічний процес (рис 2), коли у наслідок притискання гальмівної колодки до гальмівного диска (1) і тертя між ними у гальмівній системі відбувається зсув (2) викликаний відносним ковзанням поверхні пари тертя, який призводить до пластичної деформації матеріалів, що контактують між собою (фрикційне навантаження (3)), яка у свою чергу сприяє зменшенню товщини гальмівної колодки та диску, причому останній зношується вкрай нерівномірно.



Рис. 1 Схема динамічних змін пари тертя під час гальмування

Джерело: побудовано на основі [2]

Крім того при гальмуванні за високої швидкості й великої ваги транспортного засобу у гальмівному механізмі виникає висока температура та відбувається знос фрикційного контакту. Тобто процес зносу гальмівної пари – це поступове руйнування фрикційного матеріалу під впливом тертя, теплових і механічних навантажень, що виникають під час гальмування [5]. Візуально його можна відобразити як лінійну схему, де кожен етап представляє собою блок з описом процесу (рис 2).

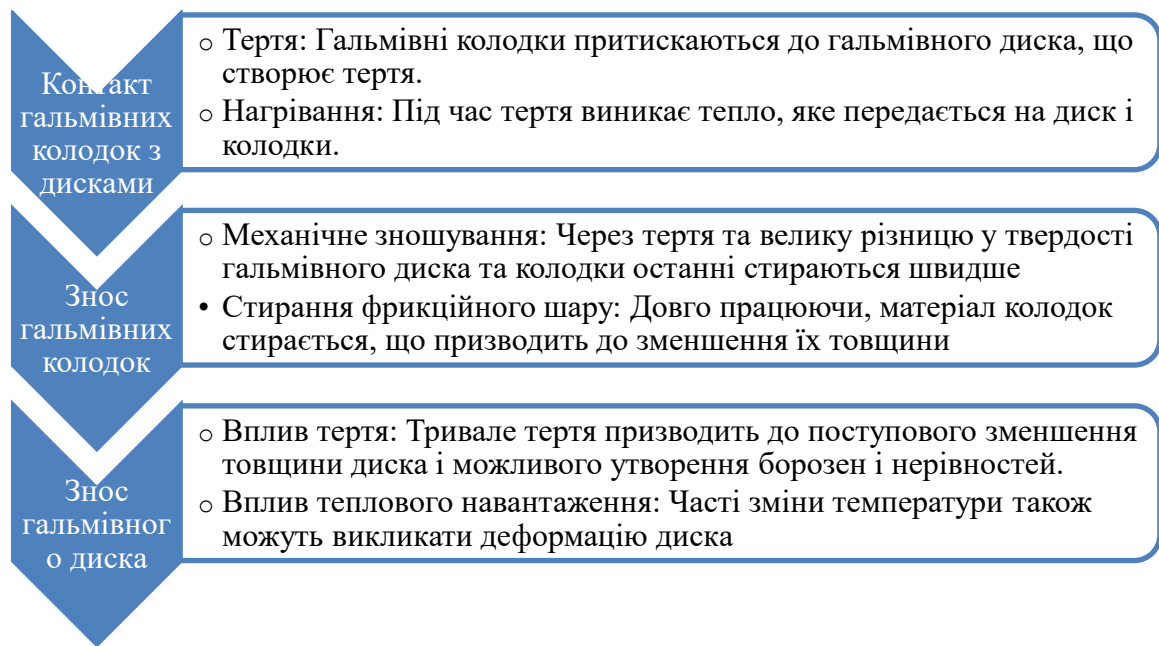


Рис. 2 Процес зносу гальмівної пари

Джерело: побудовано на основі [1,2,4]

Однак знос гальмівної колодки це природний процес, що відбувається під час експлуатації автомобіля і має об'єктивні причини (табл.1).

Таблиця 1 Основні причини зносу гальмівної колодки

Причина	Характеристика
Тертя між колодкою та диском	При гальмуванні гальмівна колодка притискається до диска (або барабана), що створює значне тертя. Це тертя генерує тепло, яке поступово призводить до зношування матеріалу колодки
Теплові навантаження	Під час гальмування виділяється велика кількість тепла. Гальмівна колодка та диск можуть нагріватися до високих температур, що викликає термічні напруження в матеріалі. При тривалому або інтенсивному гальмуванні це може призвести до термічної деградації матеріалу, зниження його твердості та прискорення зносу.
Механічні навантаження	Постійне тиск та механічний контакт між колодкою та диском спричиняють механічне руйнування частинок матеріалу колодки, що також призводить до її зносу. Рельєф поверхні колодки змінюється, і зношені частинки можуть впливати на ефективність гальмування
Хімічний вплив	Зміна складу гальмівних колодок під впливом тепла може призвести до утворення оксидів або інших хімічних речовин, що негативно впливають на стійкість матеріалу. Це явище також сприяє зношуванню
Абразивний знос	В процесі гальмування на контактну поверхню між колодкою і диском потрапляють абразивні частинки (пил, пісок, дрібні камінці). Ці частинки сприяють механічному стиранню колодки.
Вплив режиму гальмування	Інтенсивні режими гальмування (різкі зупинки, часті гальмування на високих швидкостях) прискорюють знос через високі температури та більш інтенсивне тертя.
Матеріал гальмівних колодок	Різні типи матеріалів (кераміка, органічні композити, металеві елементи) мають різну стійкість до зносу. Вибір матеріалу безпосередньо впливає на термін служби колодок та їх ефективність у різних умовах.

Тому знос гальмівних колодок зазвичай контролюється через регулярне технічне обслуговування та заміну по мірі необхідності.

### **Література**

1. Borawski, A. (2023) Study of the influence of the copper component's shape on the properties of the friction material used in brakes–Part one, tribological properties. *Materials*, 16, 749.

2. Chung, J.O.; Go, S.R.; Choi, H.B.; Son, T.K. (2020) Temperature dependence of friction coefficient and transfer film formation in organic friction materials containing different abrasive components. *Ind. Lubr. Tribol.* 72, 483-489.

3. Sabri, M.; Fauza, A. (2018) Analysis of vehicle braking behaviour and distance stopping. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 309, 012020.

4. Wang, S., Yu, Z., Wang, J., Chen, S. (2023) Research on CNN-LSTM Brake Pad Wear Condition Monitoring Based on GTO Multi-Objective Optimization. *Actuators*, 12, 301. <https://doi.org/10.3390/act12070301>

УДК 656.13

## **ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ТРАНСПОРТОМ ОПТИМІЗАЦІЮ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ АГРЕГАТІВ ТРАНСМІСІЇ**

**Матвієнко Роман Михайлович**, аспірант,

**Добуш Андрій Ігорович**, аспірант,

**Криштопа Святослав Ігорович**, д.т.н., проф.

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

e-mail: sviatoslav.kryshropa@nung.edu.ua

Важливою характеристикою якості агрегатів технологічного транспорту є висока енергоефективність, що відображає робочі властивості даних об'єктів, які закладаються в процесі проектування та виробництва машин, реалізуються при експлуатації та відновлюються за допомогою ремонту. Головними причинами зниження енергоефективності коробок перемикачів передач технологічного транспорту є втрати на тертя та втрати тиску [1]. Ці енергетичні втрати зростають як при збільшенні, так і при зменшенні в'язкості оливи і можуть призвести не тільки до зниження корисних зусиль в КПП, але і до повної втрати роботоздатності агрегатів, коли тиску оливи в агрегатах недостатньо [2].

Метою досліджень є встановлення у лабораторних умовах зв'язку температури робочої оливи агрегатів трансмісії на енерговитрати тертя КПП мобільних установок технологічного транспорту. Експериментальні дослідження втрат потужностей в коробках перемикачів передач полягало у визначення сумарних механічних і гідравлічних втрат на додання опору обертання шестерень КПП у залежності від температури трансмісійної рідини. На рис. 1 показано проведення досліджень в промислових умовах.

При прокручуванні автоматичної (або механічної) коробки передач електродвигуном визначались напруга та струм, які споживались

електродвигуном. Втрати потужності в коробках перемикачів передач  $N_{mp}$  (кВт) визначались за формулою

$$N_{mp} = \frac{U_{e0} \cdot I_{e0}}{10^3}, \quad (1)$$

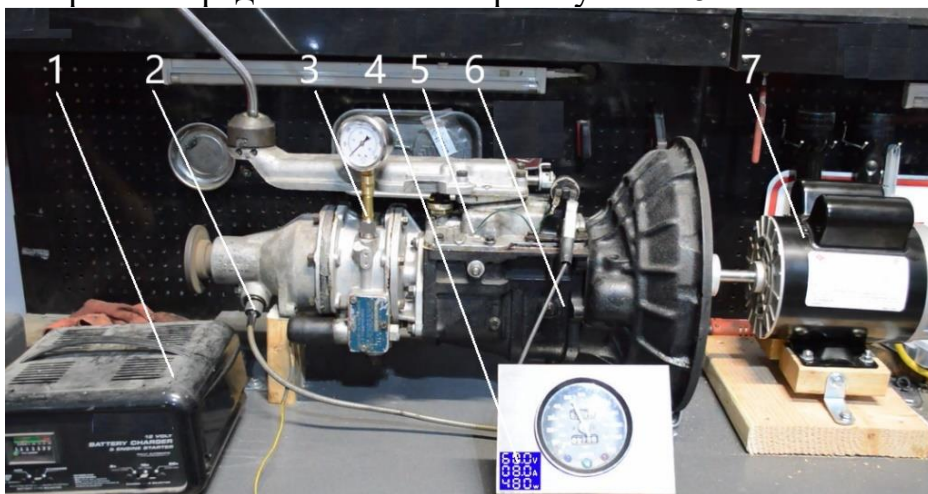
де  $U_{e0}$  – напруга, яка падала на електричному двигуні, приєднаному на стенді до автоматичної (або механічної) коробки перемикачів передач, В;

$I_{e0}$  – сила струму, яка споживалась електричним двигуном, приєднаним на стенді до автоматичної (або механічної) коробки перемикачів передач, А.



Рисунок 1 – Проведення промислових випробовувань на базі мобільного агрегату для гідравлічного розриву пластів мод. FC-2251

В експериментальних дослідженнях використовувалась механічна коробка передач насосного агрегату УН1-630×700 на шасі КрАЗ-260 та автоматична коробка передач насосного агрегату FC-2251 на шасі Kenworth T800. Для визначення втрат потужності в коробках перемикачів передач їхні КПД демонтовувались і поєднувались з електродвигуном постійного струму. Для прикладу на рис. 2 показана демонтована та зблокована з електродвигуном автоматична коробка передач насосного агрегату FC-2251 на шасі Kenworth T800.



1 – блок живлення; 2 – давач частоти обертання вихідного вала коробки перемикачів передач; 3 – контрольний манометр; 4 – контрольнo-вимірювальний блок з ватметром та тахометром; 5 – термопара; 6 – КПД агрегату; 7 – електродвигун

Рисунок 2 – Визначення втрат потужності в автоматичній коробці перемикачів передач

Вимірювання втрат потужності в коробках перемикачів передач проводилось за різних температур КПП з обов'язковим встановленням потужностей механічних втрат, які втрачаються в самому електричному двигуні. Температури КПП визначались за показами термометри, зануреною в трансмісійну рідину в середині коробок перемикачів передач.

В результаті експериментальних досліджень було визначено залежності втрат потужностей в коробках перемикачів передач у залежності від температур трансмісійних рідин (рис. 3). Наприклад, потужність, яка витрачалась для прокручування валів коробок перемикачів передач, за температури трансмісійної рідини мінус 10 °С для АКПП насосного агрегату FC-2251 на шасі Kenworth T800 склала 14,95 кВт, для МКПП насосного агрегату УН1-630×700 на шасі КрАЗ-260 - 9,92 кВт.

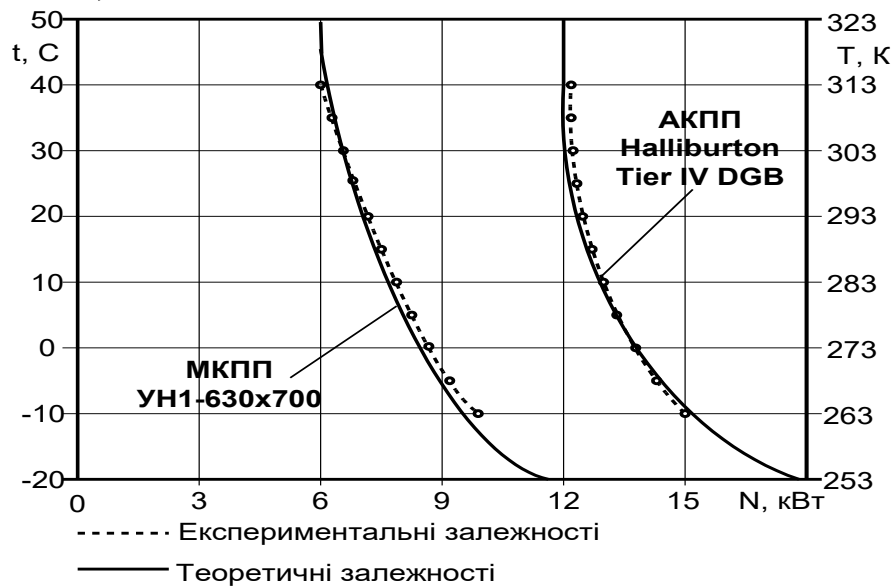


Рисунок 3 – Залежності втрат потужностей в коробках перемикачів передач у залежності від температур трансмісійних рідин (олив)

Результати експериментів показали, що мінімальні значення втрат потужності для АКПП насосного агрегату FC-2251 на шасі Kenworth T800 досягались за температури трансмісійної рідини плюс 41 °С на рівні 12,2 кВт і при подальшому зростанні температури практично не змінювались. Мінімальні значення втрат потужності для МКПП насосного агрегату УН1-630×700 досягались за температури трансмісійної рідини плюс 49 °С на рівні 5,9 кВт і при подальшому зростанні температури практично не змінювались.

#### Література

1. Wang, Z., Hu, S., Ji, H., Wang, Z., & Liu, X. (2018). Analysis of lubricating characteristics of valve plate pair of a piston pump. *Tribology International*, 126, 49-64.
2. Rundo, M. (2017). Models for flow rate simulation in gear pumps: A review. *Energies*, 10(9), 1261.

УДК 656.13

## **ЗНИЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ ПАР ТЕРТЯ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ**

**Мисів Олег Олегович**, аспірант,

**Копильців Дмитро Васильович**, аспірант,

**Криштопа Святослав Ігорович**, д.т.н., проф.

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

e-mail: sviatoslav.kryshtopa@nung.edu.ua

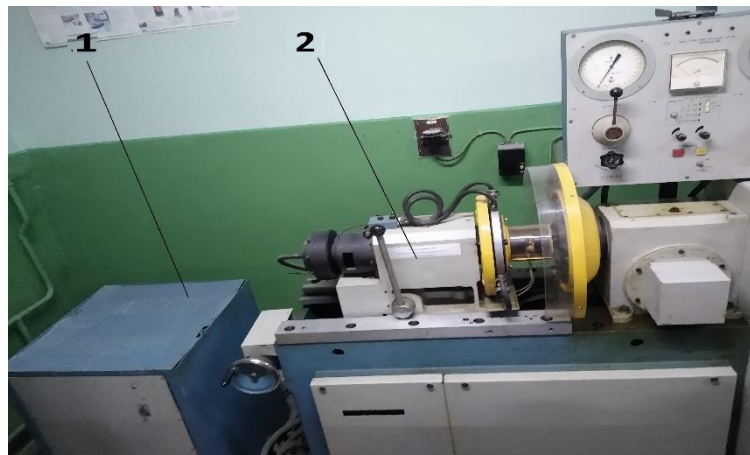
Незважаючи на значні вдосконалення сучасних насосних агрегатів технологічного транспорту, їхній ресурс в даний час залишається недостатньо високим. Наприклад, ресурс насосів високого тиску в експлуатаційних умовах у ряді випадків не досягає 2000 мотогодин, проти нормативного - 2500-5000 мотогодин [1]; згідно з дослідженнями [2] ресурс насосів високого тиску становить 55...60 % від встановленого.

Під час експлуатації насосу високого тиску мобільного агрегату ресурс насосу, переважно, характеризується технічним станом його плунжерних пар. В результаті зношування плунжерних пар збільшуються зазори і, отже, падає тиск насосу та знижується об'ємний ККД, що призводить до зниження продуктивності насосу та його відмови на кінцевому етапі [3].

Тому на кафедрі автомобільного транспорту Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу були проведені дослідження з встановлення у лабораторних та промислових умовах зв'язку температури робочої оливи гідросистеми на інтенсивність зношування поверхонь насосів високого тиску мобільних насосних агрегатів.

У лабораторних умовах випробування проводились на машині тертя моделі УМТ 2168. Як зразки, що використовувалися при проведенні лабораторних випробувань на машині тертя моделі УМТ 2168 (рис. 1), було обрано циліндричні ролики, виготовлені зі сталі 25X5M, та колодки – зі сталі 20X, так як з вищевказаних матеріалів виготовлені плунжерні пари насосу високого тиску GD-2500 мобільного агрегату для гідравлічного розриву пластів FC-2251 на шасі Kenworth T800. Твердість поверхні плунжерів зі сталі 25X5M складає HRC 58-59, а твердість поверхні втулок зі сталі 20X – HRC 61-62.

Ролики та колодки для проведення експериментів шліфувалися, шорсткість поверхні після обробки складала  $Ra = 1,25$  мкм. Діаметр ролика, на якому проводилися виміри зношування, становив 50 мм. Ширина контактної поверхні, що дозволяла досягти навантажень у контакті, відповідних навантаженням у реальному поєднанні плунжерних пар насосу високого тиску 4P-700 (питоме навантаження –  $1,45 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>), дорівнювала робочій частині колодки і становила  $0,43 \cdot 10^3$  мм<sup>2</sup>. Ширина ролика складала 12 мм. Це дозволило наблизити умови випробування зразків до умови роботи реальних плунжерних пар насосу високого тиску мобільного агрегату для гідравлічного розриву пластів FC-2251 на шасі Kenworth T800.



1 – силовий пульт машині тертя; 2 – випробовувальна установка  
Рисунок 1 – Проведення експериментальних досліджень на машині тертя моделі УМТ 2168

Забезпечення необхідних високих температур, для потрібного теплового режиму пар тертя, здійснювалось за допомогою повітряного теплового насосу Електролюкс.

Результати досліджень зношування пар тертя в залежності від температури оливи насоса високого тиску зображені на рис. 2.

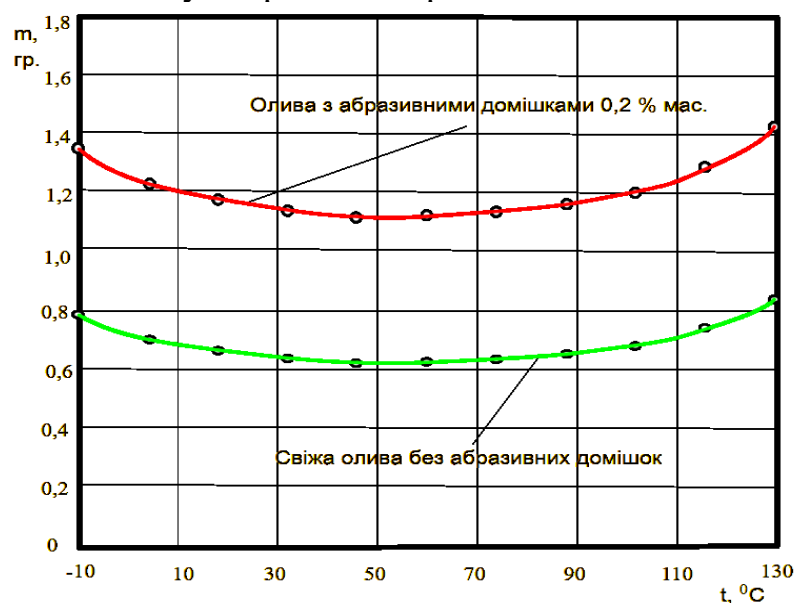


Рисунок 2 – Експериментальні залежності зношування пар тертя в залежності від температури оливи насоса високого тиску

Зниження величини зношування пар тертя при збільшенні температури оливи до 45...65 °С пояснюється кращим надходженням малов'язкої оливи в зону тертя, кращим видаленням продуктів зносу від поверхонь тертя та інтенсивнішим тепловідведенням. При підвищенні температури вище 65 °С зношування зразків тертя починає зростати, що пов'язано з порушенням гідродинамічного режиму оливи, значним зниженням товщини і міцності, а також наступним руйнуванням оливного шару, що розділяє поверхні тертя.

Для визначення впливу терміну використання оливи (стан свіжої оливи /стан старої оливи перед заміною) на зношення пар тертя були проведені відповідні експерименти. Були відібрані проби зі зливої при ТО оливи з насосу високого тиску та з'ясовано, що вміст абразивних домішок коливався в межах 0,16...0,23 % мас. Тому для дослідження зношування пар тертя від температури при використанні старої оливи в змащувальне середовище також додавався абразивні домішки в кількості 0,2 % мас. Результати експериментів показали, що при суттєвому зростанні зношування пар тертя оптимальний температурний режим залишився той самий: 45...65 °С.

З одержаних результатів зношування поверхонь пар тертя можна зробити висновок, що для забезпечення максимального ресурсу насосу високого тиску його не можна прогрівати під навантаженням, а необхідно спочатку насос в статичному стані прогріти до 45...50°С і вже після того його запускати. Висока робоча температура насосу є гіршим чинником, ніж низька, оскільки призводить до підвищеного спрацювання або руйнування пар тертя. Тому, при зростанні робочої температури насосу до 65°С, необхідно обов'язково вживати заходів для її автоматичного зниження.

### Література

1. Ivanović, L., Stojanovic, B., Blagojevic, J., Bogdanovic, G., & Marinković, A. (2017). Analysis of the flow rate and the volumetric efficiency of the trochoidal pump by application of Taguchi method.
2. Saheban Alahadi, M. J., Shirneshan, A., & Kolahdoozan, M. (2017). Experimental investigation of the effect of grooves cut over the piston surface on the volumetric efficiency of a radial hydraulic piston pump. *International Journal of Fluid Power*, 18(3), 181-187.
3. Tang, H. S., Li, J., & Yin, Y. (2017). Power loss characteristics of slipper/swash plate pair in axial piston pump. *J. Cent. South Univ.(Sci. Technol.)*, 48, 361-370.

УДК 656.13

### ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМНОГО ККД НАСОСІВ ВИСОКОГО ТИСКУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ РОБОЧОЇ ОЛИВИ НАСОСІВ

Сем`янчук Андрій Ігорович, аспірант,

Солярчук Іван Михайлович, аспірант,

Криштопа Святослав Ігорович, д.т.н., проф.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

e-mail: sviatoslav.kryshropa@nung.edu.ua

Температурний режим роботи насосів високого тиску насосних установок технологічного транспорту визначається в'язкістю - однією з найважливіших характеристик робочої рідини, що зумовлює внутрішнє тертя рідини [1]. Зі збільшенням температури в'язкість оливи зменшується, зростають витоки через ущільнення та сполучення агрегатів. Час підйому навісного механізму

збільшується, швидкодія гідросистем знижується. Значне підвищення температури може призвести до руйнування оливної плівки між поверхнями тертя, що призводить до істотного зростання енерговитрат і, навіть, до виходу з ладу насоса. Руйнування оливної плівки призводить до напівсухого тертя, що ще більше сприяє перегріву поверхонь, що труться [2]. При зниженні температури в'язкість збільшується, проте збільшуються і опори потоку оливо в трубопроводах, погіршується заповнення всмоктувальної порожнини насоса. Має місце інтенсивне піноутворення, продуктивність насоса знижується, енерговитрати – збільшуються [3].

Отже, на роботу насосів високого тиску насосних установок технологічного транспорту впливає безліч несприятливих факторів, що призводять до зростання енерговитрат, тому визначення енергетичних витрат та об'ємного ККД насосів високого тиску мобільних агрегатів технологічного транспорту є ефективним інструментом енергозаощадження.

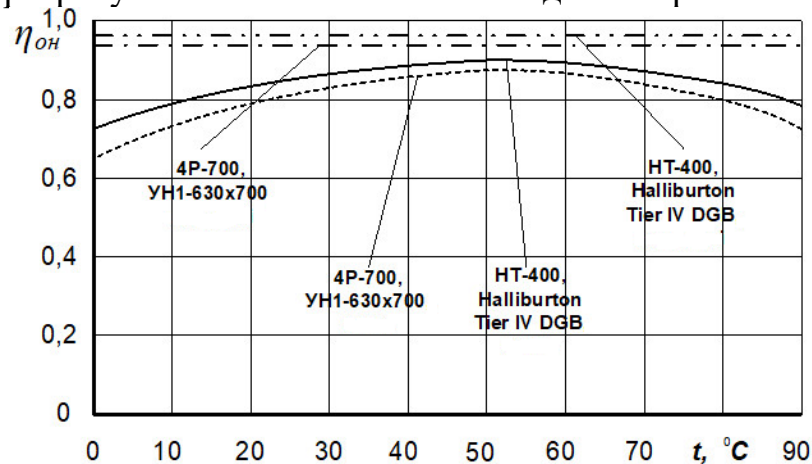
Тому на кафедрі автомобільного транспорту Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу були проведені дослідження з встановлення у промислових умовах впливу температури робочої оливи гідросистеми насосів високого тиску насосних установок технологічного транспорту на об'ємний ККД насосів високого тиску.

Промислові дослідження проводились на експериментальній установці, що була створена на базі мобільного агрегату для гідравлічного розриву пластів Halliburton Tier IV DGB на шасі Мерседес 4150 (рис. 1) транспортного цеху Управління транспорту ПАТ «Укрнафта» в м. Надвірна. Агрегат Halliburton Tier IV DGB на шасі Мерседес або Кенворт широко використовується в НГВУ «Надвірнанафтогаз», «Долинанфтогаз» та інших НГВУ для гідравлічного розриву пластів, а його навісне обладнання є типовим для сучасних мобільних агрегатів гідравлічного розриву пластів.



Рисунок 1. Проведення промислових випробовувань на базі мобільного агрегату для гідравлічного розриву пластів мод. Halliburton Tier IV DGB на шасі Мерседес 4150 (8x8)

Експериментальні значення об'ємного ККД насосів високого тиску НТ-400 насосних агрегатів для гідравлічного розриву пластів Halliburton Tier IV DGB та насосів високого тиску 4P-700 насосних агрегатів для гідравлічного розриву пластів УН1-630×700 в залежності від температури робочої оливи насосів та порівняння їх із розрахунковими значеннями наведено на рис. 2.



\_\_\_ .. \_\_\_ - заводські значення об'ємного ККД насосів високого тиску НТ-400 насосних агрегатів для гідророзриву пластів Halliburton Tier IV DGB;

\_\_\_ . \_\_\_ - заводські значення об'ємного ККД насосів високого тиску 4P-700 насосних агрегатів для гідророзриву пластів УН1-630×700;

\_\_\_\_\_ - експериментальні значення об'ємного ККД насосів високого тиску НТ-400 насосних агрегатів Halliburton Tier IV DGB;

----- - експериментальні значення об'ємного ККД насосів високого тиску 4P-700 насосних агрегатів УН1-630×700.

Рисунок 2. Експериментальні значення та розрахункові значення об'ємного ККД насосів високого тиску в залежності від температури робочої оливи насосів

Аналіз отриманих результатів теоретичних досліджень шляхом порівняння з даними експериментальних досліджень показав наступне. Згідно даних заводів-виготовників об'ємний ККД нового справного насосу високого тиску НТ-400 насосних агрегатів для гідравлічного розриву пластів Halliburton Tier IV DGB складає 0,96; об'ємний ККД нового справного насосу високого тиску за даними математичної моделі складає 0,94. Згідно одержаних експериментальних досліджень максимальний об'ємний ККД справного насосу високого тиску НТ-400 насосних агрегатів для гідравлічного розриву пластів Halliburton Tier IV DGB досягався за температури 53 °C і дорівнює 0,89; максимальний об'ємний ККД справного насосу високого тиску за даними математичної моделі досягався за температури 55 °C і дорівнює 0,87.

Ґрунтуючись на одержаних експериментальних результатах, можна з упевненістю підтвердити життєздатність теоретичної моделі енергетичних витрат насосу високого тиску мобільних агрегатів технологічного транспорту.

### Література

1. Xiaoning Wang, Large-eddy Simulation of Sand Streamers in Wind-blown Sand, Procedia Engineering, Volume 61, 2013, Pages 108-110.
2. Bejger, A., & Piasecki, T. (2013). Technical problems of mud pumps on ultra deepwater drilling rigs. Zeszyty Naukowe/Akademia Morska w Szczecinie.

3. Piasecki, T., Bejger, A., & Kozak, M. (2016). The assessment of the operational suitability of mud pumps on deep water drillships depends on maintenance strategy. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*, (46 (118), 49-53.

## MODELING AND SIMULATION OF AN AUTOMATIC TRANSMISSION CONTROL SYSTEM USING SIMULINK

**Kolby Mostrom**, student

**Joshua Nwaneli**, student

**Prem Thannickal**, student

**Sophie X. Liu**, Ph.D., Senior professor

*Engineering School, Oral Roberts University, 7777 S. Lewis Ave, Tulsa, Ok 74171*

*Abstract.* Automatic transmission systems are essential for enhanced driving comfort, improved safety, and increased fuel efficiency. This paper presents a MATLAB/Simulink-based model of an automatic transmission control system, focusing on gear-shift logic, torque converter behaviour, and speed control via PID feedback [1], [2]. The objective is to design a model that selects the appropriate gear ratios based on the vehicle's speed and throttle position [3], [7].

*Introduction.* An automatic transmission is a complex mechatronic system that manages the transfer of power from the engine to the wheels. Unlike manual systems that require constant driver control and adjustment, an automatic transmission utilises electronic control units (ECU) and hydraulic systems to determine optimal gear ratios [3]. Modern advancements in control systems and modelling software, such as MATLAB and Simulink, enable engineers to simulate and analyse transmission performance under various driving conditions [5], [6]. This project aims to develop a Simulink model that demonstrates the operation of an automatic transmission using feedback control strategies.

The significance of this work lies in understanding how control theory applies to real-world automotive systems, particularly in terms of energy efficiency and driver comfort.[2],[3] Simulink provides a virtual environment for visualising system behaviour, evaluating control algorithms, and predicting performance before physical implementation.[5]

*System Overview.* The transmission is an integral part of a car's drivetrain. The transmission converts the engine's power into mechanical torque [3], which in turn moves the car. An automatic transmission consists of several different components: a Torque converter, planetary gear sets, hydraulic systems, and an electronic control unit. Combined, these components provide multiple gear ratios, easily engaged/disengaged clutch bands, and shift control logic. The electronic control unit relies on sensor inputs (throttle position, vehicle speed, and engine rpm) to process and determine the appropriate gear ratio. Once the appropriate gear ratio has been selected, the ECU actuates a solenoid to change gears by hydraulic pressure.[3]

The system continuously adjusts the throttle and gear ratio to minimise the difference between the target and actual speeds. The primary signal flow begins with a speed reference, which is compared to the actual speed through a simulation block to

compute error. The PID controller processes the error and outputs a throttle command, which is limited by a saturation block to ensure the throttle value remains between 0 and 1.[1],[2] The gear selection is determined using a lookup table that maps vehicle speed (in kilometres per hour) to a specific gear ratio. This ensures efficient torque conversion and realistic shifting behaviour.[6],[7]

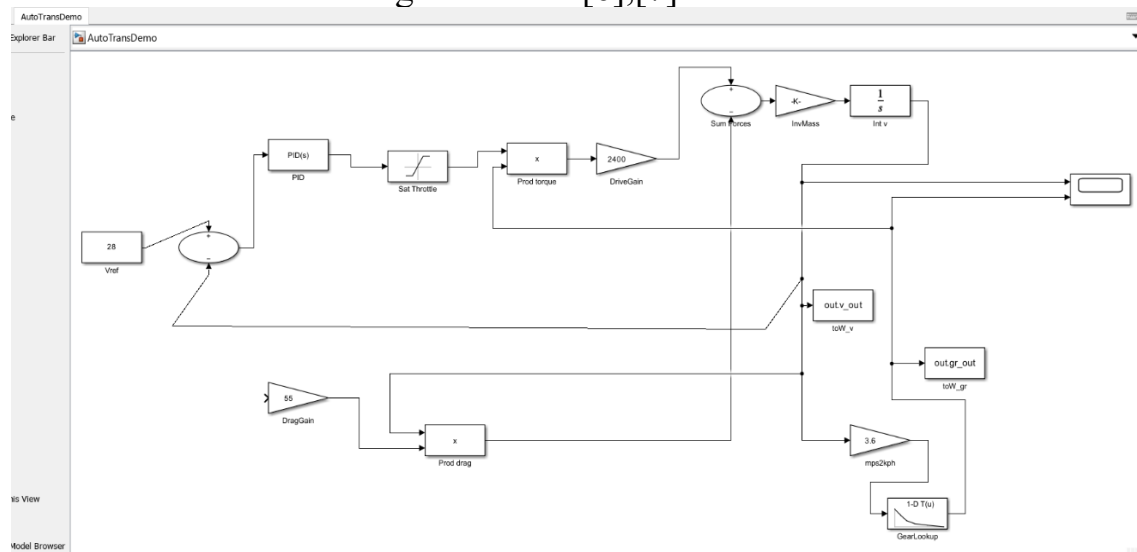


Fig. 1: Simulink Model of the Automatic Transmission System

*Control System Design.* The control system is designed in MATLAB/Simulink. The design integrates input signals, decision logic, and a PID controller [1], [2]. The input sensors provide the throttle position and the vehicle speed. The decision logic is computed by referencing a table system to determine the optimal gear ratio. The PID controller adjusts the shift timing based on the target and actual speed.

Equation for PID controller:

$$u(t) = K_P e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Where  $e(t)$  is the speed error, and  $u(t)$  is the control output regulating hydraulic pressure for gear engagement.

The PID controller is connected to a throttle saturation block to prevent unrealistic throttle actuation. The throttle value is multiplied by the gear ratio selected by the lookup table to produce the driving force. The total driving force is then opposed by a drag term, which models aerodynamic resistance.[3],[4]

The sum of the driving and drag forces determines the vehicle's acceleration, which is integrated over time to calculate velocity. The control loop continues to compare the measured speed against the reference, adjusting throttle output accordingly. This feedback loop ensures the vehicle reaches and maintains the target speed during gear transitions.

The Simulink model includes subsystems for the engine, torque converter, gearbox, and controller. The gear shift occurs when speed thresholds are reached.[2]

This design structure mirrors the real-world systems used in modern vehicles, in which control modules continuously adjust transmission and engine parameters to optimise performance and efficiency.[3],[7]

**PID Tuning Methodology.** The performance of any closed-loop control system heavily depends on the tuning of the controller gains. In this simulation, the PID controller parameters ( $K_p, K_i, K_d$ ) were tuned to achieve a stable yet responsive speed response with minimal overshoot [1],[2]. The tuning was done through an iterative process based on system step response analysis. Increasing  $K_p$  improves the system's response speed but can cause oscillations if too high, while  $K_i$  eliminates steady-state error at the cost of slower settling time. The derivative term  $K_d$  was kept relatively small to dampen oscillations and reduce throttle fluctuations during gear shifts.[2]

**Design of the Simulink Simulation.** We decided to design a simplified automatic transmission system that could be easily modified for future testing. We began by identifying what forces were acting on the car to model the vehicle dynamics. Using Newton's second Law:

$$F = m \cdot \frac{dv}{dt}$$

This can be separated into two forces. The forward drive force:

$$F_{drive} = G \cdot r \cdot u \quad (\text{Equation 3}) [3],[4]$$

With  $G$  being the Drivetrain gain,  $r$  the gear ratio, and  $u$  the throttle input, and the backward drag force:

$$F_{drag} = Cv$$

With  $C$  being the drag coefficient and  $v$  being the velocity. Combining these, we get:

$$F_{net} = F_{drive} - F_{drag}$$

These are standard powertrain modelling assumptions used in industry. Thus:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F_{drive} - F_{drag}}{m}$$

This was implemented in Simulink as a sum of forces feeding into an integrator box. After this, we selected gear ratios to ensure the transmissions maintained efficient torque delivery. These were implemented using a lookup table to map speeds to different ratios. These resulted in smooth acceleration, as evident in Figure 2 [5].

**Gear Shift Logic and Hysteresis Strategy.** The gear-shifting principle utilised in automatic transmissions dictates when and under what conditions the system shifts from the current gear ratio to another. In this context, with Simulink, the maximum gear ratio was selected using a lookup table of vehicle speed (km/h) versus gear ratio. This is how a genuine Electronic Control Unit (ECU) selects the correct gear based on the specified speed thresholds.

To counter the behaviour of shifting gears in and out of gears (gear hunting), real systems will extend a hysteresis band of a small length. This may be implemented in a further development of the model by defining slightly different speeds for upshifting and downshifting (upshifting at 30 km/h and downshifting at 25 km/h). This adds more stability and creates smoother gear selections, particularly during variable throttle input. Overall, the lookup-table option remains a simple yet more realistic representation and accurately captures the main torque-speed characteristics exhibited in real drivetrains ECU and Sensor Feedback Mapping. The control system for an automatic transmission in a real vehicle consists of a sophisticated Electronic Control Unit (ECU) that continuously receives information from multiple sensors [3], [4]. The ECU requires throttle position, engine speed (RPM), and vehicle speed. From these

inputs, the ECU receives data to provide recommendations for gear selection and engine throttle feedback[3].

In the Simulink model, these components and inputs are modelled using equivalent signal blocks [5]. The speed sensor represents a feedback loop that measures the vehicle speed. The PID controller models the logic derived from the ECU, which measures the attractive value of the speed error [1], [2]. The proportional threshold specifies the throttle body actuator constraint. The map table replaces the internal shift map, which the ECU uses to select gear ratios [3], [6]. The mappings provide a proportional digital twin of how real automotive control systems operate [3], [5]. The continuous update of speed — the reference and actual speeds are compared — as an ECU constantly adjusts performance to keep up with changing drive cycles[7].

Simulation and Results. Using MATLAB Simulink, we simulated a transmission system over time frames of 30 and 300 seconds [5]. The results are shown below. During the simulation, the controller attempted to reach a speed of 28 m/s (approximately 100 km/hr). At the beginning of the simulation, the throttle is fully engaged, causing the vehicle to accelerate rapidly. As the vehicle's speed approaches the target value, the PID controller reduces the throttle input to maintain stability [1], [2]. The speed response shows a smooth acceleration curve that stabilises near the target value [2], [5].

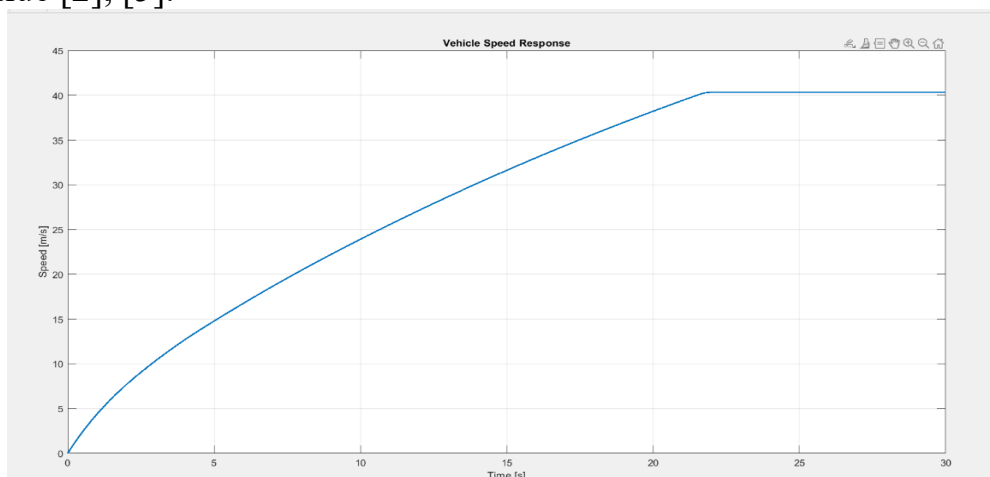


Fig. 2: Vehicle Speed vs. Time

Figure 2 illustrates the car's speed over time during our simulation. The Graph starts at zero and rises to its maximum at  $t = 22s$ , then flattens out. There is no overshoot or oscillation, which implies a well-damped response. [5],[6]The graph is steepest at the beginning, when the gear ratio is highest, leading to the highest acceleration, and then it becomes less steep as the gear ratio decreases. At  $t = 22s$ , the car reaches its maximum speed, as the simulation reaches the “redline” (the maximum speed) on the lowest gear ratio. [1],[2]

The second graph illustrates the behaviour of the gear ratio. The system begins in a high-torque, low-speed gear and progressively upshifts (lowering the gear ratio) as the vehicle gains speed. Each gear ratio corresponds to a speed breakpoint. Demonstrating the control logic properly links transmission behaviour to vehicle speed. The results validate the theoretical expectations of automatic transmissions.

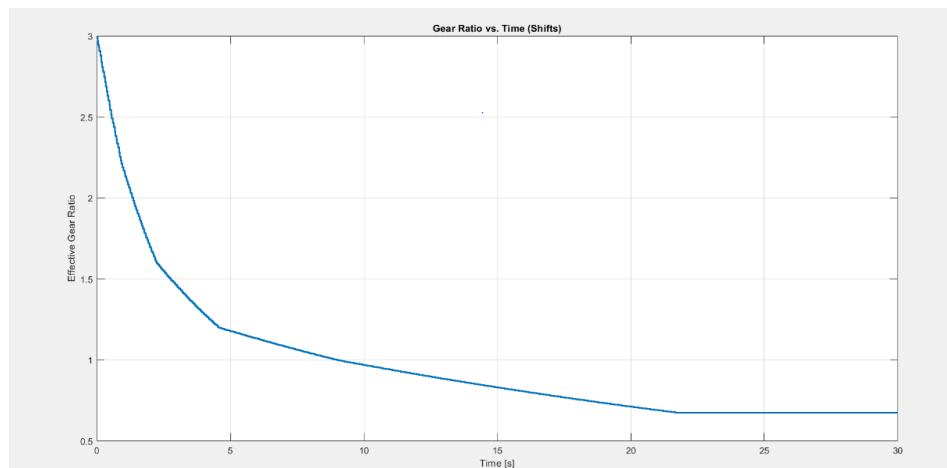


Fig. 3: Effective Gear Ratio vs. Time

Figure 3 shows the effective gear ratio over time during our simulation. The Graph starts at 3 and decreases to its minimum at  $t = 22s$ , with a value of 0.7. There is no overshoot or oscillation. The graph begins at its highest point in first gear, where torque is at its peak. This coincides with our speed vs time graph, as this section has the highest acceleration. The gear ratio gradually decreases until it levels off at  $t = 22s$ , at which point the lowest gear is engaged and the car can no longer accelerate.

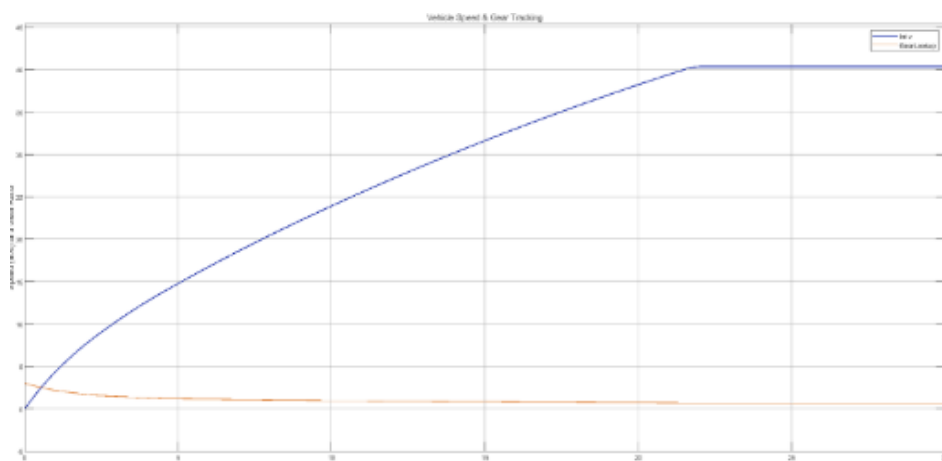


Fig. 4: Speed and Gear Ratio vs. Time over 30 seconds

We observe that as the gear ratio decreases, the speed increases, and both graphs stabilise simultaneously.

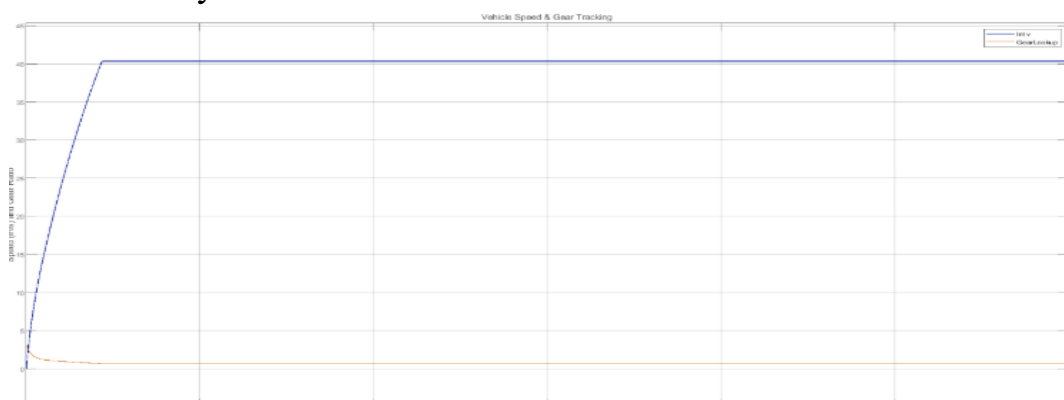


Fig. 5: Combined Graphs Over a 300-Second Interval

Figure 5 extends the simulation to 300 seconds. This shows similar results: a maximum speed is reached at the minimum gear ratio, and it further demonstrates that there is no overshoot or oscillation, even over the extended time period.

System Block Diagram and Explanation. Speed Reference → PID Controller → Throttle Input → Gear Ratio Lookup → Drivetrain Model → Vehicle Speed → Feedback.

The control loop starts with a comparison between the vehicle's measured speed and a stationary reference [3], [4]. The PID controller seeks to diminish the error by changing the throttle input. The throttle signal and gear ratio determine the force delivered, while the drag force and the vehicle's mass are combined to calculate acceleration. This value is integrated to obtain the vehicle's velocity, thereby completing the feedback loop. The design exhibits key similarities to real-world closed-loop control principles, such as those in cruise control and automatic transmission systems [1],[7].

Real-World Application. Automatic transmission control systems, developed and evaluated in simulation packages such as MATLAB and Simulink, can be helpful in academia and industry alike. A simulation package such as Simulink enables engineers to test control algorithms before implementing them in a physical vehicle (a potentially safer and more productive exercise). Working with software lowers risk, shortens design time, and reduces real-world costs by eliminating the need to build a prototype.[5],[6]. For example, automakers like Ford, Toyota, or Bosch can use simulation packages to determine how multiple electronic systems or gear-shift strategies affect a vehicle's behaviour. Engineers can change parameters like throttle response or gear ratio and quickly see how the car might behave, at far less expense than spending on a road test [3],[7]. The same methods mentioned are valuable for students in academic settings, where they can experiment with issues related to automated systems or feedback control in a simple, engaging environment, which is directly relevant to a more realistic representation of reality [4], [5].

Future Applications. While the current simulation effectively captures the core behaviour of an automatic transmission, there are opportunities to make it feel more lifelike for everyday driving. For example, adding environmental factors—such as changes in aerodynamic drag at different speeds, the influence of road slopes on power delivery, or the extra weight from passengers or cargo—would help reflect real-world conditions[3],[4]. It could also be beneficial to incorporate minor sensor delays or a bit of random measurement noise to simulate the subtle imperfections found in real automotive systems[7].

Future versions could experiment with more adaptive control strategies, such as fuzzy logic, model predictive control (MPC), or self-tuning PID loops that automatically adjust as driving conditions change [2], [7]. These approaches can offer smoother gear shifts, better throttle response, and improved fuel efficiency compared to using a fixed PID controller [1], [2].

Including a torque converter model would make gear changes and low-speed driving feel more realistic. Similarly, engine torque maps could create a more direct link between the gas pedal and the engine's actual power [3], [6]. Tracking factors such as fuel

consumption and ride comfort (e.g., sudden acceleration changes) would also provide a clearer sense of how different settings affect both performance and efficiency [7].

Altogether, these upgrades could transform the current simulation from a research demo into a practical tool that engineers can use to design and optimise real-world transmissions [5], [6].

*Conclusion.* To conclude, we successfully created a simulation of an automatic transmission system that accurately reflects a realistic system [5], [6]. The simulation is modular, allowing users to change values and test transmissions for more specific cars easily. Additionally, more attributes can be added to test for the effects of other factors. This serves as an option to streamline the testing process when designing new transmissions, as the simulation can be used instead of building a full-scale practical model [3], [5], [6].

### References

1. K. J. Åström, T. Hägglund, *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning* (ISA, Research Triangle Park, 1995)
2. R. C. Dorf, R. H. Bishop, *Modern Control Systems*, 13th ed. (Pearson, Upper Saddle River, 2017)
3. R. Bosch GmbH, *Automotive Handbook*, 9th ed. (Wiley, Hoboken, 2014)
4. D. G. Alciatore, M. B. Hiestand, *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems*, 5th ed. (McGraw-Hill, New York, 2020)
5. MathWorks, *Simulink: Modelling and Simulation of Dynamic Systems* (The MathWorks Inc., Natick, MA, 2023)
6. MathWorks, *Vehicle Modelling Tutorials: Powertrain and Driveline Systems*
7. S. E. Li, Y. Zheng, S. C. Wong, “Engagement control of automatic transmissions,” *IEEE Trans. Veh. Technol.* 64, 5434–5445 (2015)

## CONTROL SYSTEMS FOR PUMP NETWORKS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY: EFFICIENCY, SAFETY, AND EMERGING TECHNOLOGIES

**Axl Ortega**, student

**Caleb Haines**, student

**Chloe Rowland**, student

**Sophie X. Liu** Ph.D., Senior professor

*Engineering School, Oral Roberts University, 7777 S. Lewis Ave, Tulsa OK 74171*

*Abstract.* The oil and gas industry is a vital component of the global economy, generating trillions of dollars in revenue. Oil is essential for transportation, electricity, and industrial production, making the industry critical to daily life and economic activity (U.S. Energy Information Administration, 2023). In the oil and gas industry, control systems are essential to ensuring safe, efficient, and automated operations. They enable remote monitoring and control of dangerous, complex processes, automate tasks to reduce human error, and help ensure consistent product quality. Although cybersecurity threats, the severity of the operating environment, and the need

to connect with older systems are the challenges they face, technological advancements are improving their capabilities. Control systems are becoming more intelligent, more adaptable, and more robust through innovations such as AI applied to predictive maintenance, modeling of digital twins, and improved robotics (Hellman et al., 2024)

The main use of control systems in the oil and gas industry is to operate pumps that transport fluids such as crude oil and gases. This industry primarily uses centrifugal pumps, metering pumps, diaphragm pumps, and positive displacement pumps. To bring control systems to reality in this industry, three important things will be needed: Variable Frequency Drives (VFDs) are devices that allow for the adjustment of the motor speed of the pumps, which allows flow rate change. VFDs not just stabilize flow and discharge pressure, they also minimize energy consumption and mechanical wear that could damage the pumps. For this reason, VFDs improve the overall system efficiency. On the other hand, Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems assist engineers in visualizing process data, detecting anomalies, and adjusting control parameters remotely to maintain optimal workflow and safety. Lastly, Programmable Logic Controllers (PLCs) serve as the brain of the entire system because they monitor inputs, make a decision based on a stored set of rules, and then output commands to automate a process.

*Introduction.* With increased volume and intensity in the oil and gas industry, the need for advanced automation and control systems to safeguard safety, efficiency, and reliability has increased. Traditional field instrumentation monitoring, whether it's using machines or human technicians, is tedious and also prone to human error/misrecognition, which can lead to dangerous accidents. Thus, automated and centralized monitoring systems have become mandatory. Such a system allows the management of remote control, real-time visualization of data. It allows combining multiple analog and digital signals for a better measurement accuracy, operational versatility, performance, cost efficiency, and human error minimization of labor costs (Guruprakash et al., 2020).

A few terminology names will be defined in this paper; the most important are control and feedback. Feedback is the method of feeding a system's output back into its input to form a loop that helps reach a specific desired result. Two examples are the regulation of blood sugar in the human body and the centrifugal governor that underlies steam engines. Feedback can promote stability, precision, and robustness to disruptions, but in a poorly configured system, it can lead to instability or noise. Feedback is fundamental with regard to balance, control, and precision in complex systems (Åström et al., 2007). Control, in this scenario, refers to the role of algorithms and feedback in regulating engineered systems, from electronic amplifiers to self-driving cars. A contemporary control technique incorporates a pattern of sensing, computation, and actuation to achieve desired system behaviour with stability, disturbance rejection, and reactivity. Control involves modeling system dynamics for uncertainties and noise, and constructing good interconnections. It is characterized by input and output modeling, on-line operation, dynamic behavior, and is typically designed using software (Åström et al., 2007).

Pumping operations in the oil and gas industry require accurate control for a variety of reasons. Sustainable technology can also enhance operational effectiveness,

accurately regulating the pumping process and productivity. There are environmental benefits to the adoption of sustainability in that it cuts down on greenhouse gas emissions and waste generation. Such systems also ensure safety. Active monitoring and automation of control mechanisms support early identification of problem areas, preventing possible hazards and establishing the integrity of operations. Cost-effective, energy-saving practices and the uptake of renewable energy sources can lead to significant cost savings. This can reduce both operating costs and improve the economic viability of companies, as production energy and waste can be minimized (Emuobosa et al.).

Pump network regulation in the oil and gas industry is paramount, in terms of optimizing energy use and operational safety, with respect to its pumps. Effective pump systems can cut energy expenses, decrease environmental damage, and improve system durability. Employing smart controlling systems, such as VFDs and predictive maintenance, can be used to dramatically increase pump performance. Not only do these approaches reduce energy consumption, but they also extend the lifespan of equipment and enhance safety against failures. Our research will analyze the industrial and environmental characteristics related to control systems and the application of pumping systems in the oil and gas industry. Control system design in pump networks, energy optimization, and safety integration will also be discussed.

Lastly, this study will focus on the emerging technologies in the oil and gas industry.

**Control Systems in Industrial Applications** Establishing the difference between open and closed-loop systems will be important for understanding topics further discussed in this study. An open-loop system is a type of control system that does not affect the control action. There is no feedback loop to monitor or adjust the system based on its output. It operates independently of its output. Advantages of open-loop control systems include simplicity, stability, cost efficiency, speed, and resilience to feedback issues. Open-loop systems are less complicated than closed-loop systems because of their nature. The design and operations of the system are straightforward, which makes them easier to understand and implement (Ragno). Because there is no feedback loop, open-loop systems remain unaffected by any issues the feedback might incur. This ensures a consistent and stable performance. Also, because of its simple structure, constructing and maintaining an open-loop system is more cost-effective (Ragno). Open-loop systems operate swiftly because they do not need to process any feedback information. Finally, open-loop systems are a reliable choice in certain applications because they are impervious to problems that may occur because of the feedback loop's issues, such as noise interference or stability issues (Ragno).

While these benefits make open-loop systems appealing for simple applications, their lack of a feedback mechanism is a limiting factor when a high level of accuracy and adaptability is required (Ragno). This is where a closed-loop system can be used. A closed-loop system incorporates feedback to adjust its actions based on the output (Ragno). The system is continuously monitoring the output and makes adjustments to the input control, ensuring the desired level is maintained (Ragno). Essentially, a closed-loop system is constantly checking the output and balancing the output according to the results of the output. The benefits of a closed-loop system include accuracy, adaptability, stability, automation, and efficiency. Because of the continuous

feedback mechanism, closed-loop systems afford more accurate control than open-loop systems. Closed-loop systems can also quickly adapt to changes within the operating environment, which makes them suitable for applications with widely varying conditions (Ragno). The feedback mechanism of a closed-loop system allows the system to correct itself in real time, ensuring stability. One major benefit of closed-loop systems is their ability to be completely automated. Because of its self-regulating nature, a closed-loop system can operate without human intervention. Finally, by continuously monitoring and adjusting their output, closed-loop systems operate more efficiently compared to open-loop systems. This, in turn, reduces waste and saves resources (Ragno). Both open and closed-loop applications can be very helpful for different applications, depending on what needs to be prioritized.

**Industrial Control Hierarchy.** Industrial controls are structured hierarchically, with each level comprising field control, monitoring functions of supervisors, and monitoring devices operating in a distinct, but effective, safe, and reliable way when interacting with complex operations. The initial layer consists of devices that control the actual process in the field of Industrial Process, which comprises the field layer, which is the structure and core of the industrial control system. This consists of meters that measure pressure, temperature, flow, and level, instruments with actuators that operate control actions such as opening or closing valves, initiating motors, or changing pumps. The field layer contributes directly to the raw input and control necessary for deeper level control and supervisory activity, and it is also a vital component in the detection and control of the correct processes and the safety (Stouffer et al.).

Next is the control layer, which is the layer above the field layer and manages the response to the sensor-generated data and sends commands to actuators. That includes, but is not limited to, Programmable Logic Controllers (PLCs), Distributed Control Systems (DCS), and Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems. PLCs work with real-time, local control tasks, executing pre-defined logic in response to sensor inputs. DCS provides coordinated control over complex processes, involving the distribution of control functions among multiple controllers while integrating process-wise data. SCADA systems combine data from PLCs and DCS for centralized monitoring, analysis, and high-level supervisory control, often in large geographical areas.

Collectively, the industrial processes can be more efficiently, reliably, and safely controlled through precisely automated control implemented with these systems (Stouffer et al.).

Lastly, there is the supervisory layer, which concentrates on watching, scheduling, and decision making, and is devoid of control over the actual machines. This layer normally has control rooms and remote operations centers, in which operators use Human-Machine Interfaces (HMIs) to access real-time data, dynamic trends, and alarms from the control systems. One part of the supervisory layer enables operators to monitor numerous processes, assess and plan intelligent decisions, adjust setpoints, and react to anomalies. The supervisory layer contributes to system safety, reliability, and operational efficiency by providing centralized situational awareness and high-level management of operations (Stouffer et al.).

**Types of Controllers.** Proportional Integral Derivative (PID) controllers are some of the most commonly used feedback control devices within industrial systems. They continuously derive an error, which is the difference between the fixed setpoint of the target and a measured process variable, and take corrective measures according to the following three concepts: proportional (the current error), integral (the sum of past errors), and derivative (forward prediction of the future error based on the rate of change). PID controllers are prized for their simplicity and robustness, as well as the fact that they can perform such tasks as temperature regulation, liquid flow control, and pressure control. (“Advanced PID Control – [Book Review]”).

Cascade control is a widely used control method in use in industrial processes with many applications, which include control of pumps, pump systems and/or fluid flow control. This method assumes a central (master) controller can specify the setpoint for a secondary (slave) controller that directly operates a more rapidly reactive process variable. In pump and flow control, the master controller tends to control a slower process variable, while the slave or slave controller moves the pump speed or valve point to keep the desired flow rate in the desired state. This hierarchy of control increases the precision of control, increases the rejection of disturbance, reduces the disturbance, and increases stability. For example, in cascade pumping systems, the primary controller sets the setpoint for the secondary controller, and the secondary controller sets the tuning of pump control to the predetermined flow rate, thus making up for the change of the setting speed in case of disturbances or non-compliance (Liu et al.).

Adaptive Model Predictive Control (AMPC) adapts and controls a model in real-time, rather than through a manual model, to change system dynamics. This technique combines features originally added to general MPC with real-time adjustments. A standard MPC uses a fixed model to predict future system response and compute optimal control actions, but AMPC calibrates its model parameters online and considers variability such as parameter drift, external disturbances, or unmodeled dynamics. This flexibility renders AMPC particularly suited for complex industrial processes with variation of system characteristics over time. Through this type of model update process by AMPC, it guarantees performance and robustness if uncertain or disturbed (Yu and Long).

**Pumping Systems in Oil and Gas.** Pumps are invaluable fixtures on many oil drilling rigs. This equipment accelerates the fluid transfer from one location to another. Refineries need these pumps because oil displacement is critical for rig operations. Processing fluids in the gas and oil industry can be challenging, and using the correct refinery pumps will aid the process (LCEC et al., 2023).

The primary pumps utilized in the oil and gas industry are divided into two categories: positive displacement and centrifugal pumps.

**Positive displacement.** Positive displacement pumps are designed to ensure that any pumping action is forward. Its internal design ensures and prevents fluid from recirculating back towards the pump inlet or within its casing. They handle high viscosity liquids without loss of flow or pressure which is needed in the oil and gas industry. The diaphragm pump is an example of positive displacement. Diaphragm Pump

This industrial oil pump has a diaphragm and valve to draw gas and oil into a refinery chamber during the midstream and upstream refinement phases. As the chamber volume increases, the pressure decreases, allowing fluid to pour into the chamber. Then, the diaphragm pushes the oil out as it moves up and down. After the liquid clears the chamber, the diaphragm will adjust to allow more liquid to enter. Although diaphragm pumps are effective in working with viscous and corrosive fluids, they have a number of operational issues. Their reciprocal movement results in a pulsating flow, which may result in vibration and variation of pressure, and the diaphragm itself may be subject to fatigue and wear with time. Moreover, this can decrease the efficiency of valve blockages and air supply problems, and limited flow capacity, which in most cases necessitate frequent maintenance to avoid leakages or downtimes in the system.

**Centrifugal Pump.** Centrifugal pumps for the oil and gas industry use one or multiple rotating impellers to suction the oil into the pump before discharging the fluid with centrifugal force. Valves control the discharge.

These pumps are excellent for low-viscosity fluids with high flow rates and do not contain fumes, air, or significant amounts of solid particles. (LCEC et al., 2023).

Centrifugal pumps are highly popular due to their simplicity and the capability to operate with high flow rates, but there are numerous obstacles to their operation. They are very sensitive to fluid viscosity changes and are unable to work effectively when working with a thicker liquid or a liquid that contains gas. Low pressure at the inlet or formation of vapor may cause cavitation that may impair performance and injure impellers. Also, mechanical seal failures, wear of the bearings, and requirements of high precision of alignment place extra maintenance requirements, particularly with varying process conditions.

**Control Objectives.** In centrifugal pumps, the key control goals include having the preferred flow rate and pressure through adjusting the motor speed via Variable Frequency Drives (VFDs), avoiding cavitation via suction monitoring, and ensuring optimal energy use at different process requirements. Driedger (2012) suggests that to ensure centrifugal pump are properly controlled, the operating point needs to be continuously regulated to suit process needs, but the Net Positive Suction Head (NPSH) must be sufficient to prevent cavitation damage. Control systems are also used to guard against mechanical failures like overheating, overpressure, or dry running of the pump and soft-start mechanisms to minimize hydraulic shock during start-up and shutdown.

In the case of diaphragm pumps, the goal of control aims at the maintenance of accurate flow and pressure control through control of the diaphragm stroke rate and the input of air or motor. These systems are created to ensure the reduction of pulsation effects and diaphragm integrity to identify fatigue or rupture at an early stage, ensuring reliability and the quality of the product. Automation and control over air pressure are the main factors in ensuring consistent performance of the diaphragm pumps, and regular adjustment of the air supply and discharge pressure ensures that the cycle is not disrupted and the system is not clogged (Hydraulic Pump Suppliers, 2023). Also, there are built-in safety devices, including pressure sensors and relief valves, which reduce the risk of overpressure and ensure safe working conditions with different loads.

**Control System Design for Pump Networks.** Designing a control system of the pump networks in the oil and gas industry necessitates the implementation of sensors, actuators, feedback controllers, and supervisory logic to ensure the effective and stable operation of the pump networks. Pump networks are nonlinear by nature because they exhibit different levels of flow resistance, fluid density, and pump features; thus, the appropriate control strategy should strike a balance between flow control and energy expenditure, as well as mechanical safety.

**Feedback and Sensor Integration.** Pump network control is based on accurate and reliable sensor feedback. Sensors such as flow meters, pressure transducers, and level transmitters are strategically placed along suction and discharge lines to monitor critical variables in real time. Flow meters are used to measure volumetric or mass flow rate, pressure transducers measure suction and discharge pressure to prevent cavitation or overpressure, and level transmitters in storage tanks or separators are used to maintain optimal inventory levels. These sensors transmit analog or digital signals to PLCs or DCS units, which process the data and execute control logic.

**Actuators and Variable-Frequency Drives (VFDs).** Actuators convert control commands into mechanical action. The typical actuators are control valves, on/off solenoids, and motor drives. The most effective developed actuator technology in modern systems is the Variable Frequency Drive (VFD), which regulates the rotational speed of the motor to dynamically regulate the flow rate and discharge pressure of the pump. VFDs are more efficient by reducing power loss and mechanical damage through the modulation of motor frequency rather than throttling of valves, which allows smooth starts and stops, increasing the pump life.

**Dynamic System Modeling.** To come up with a design of a control system, engineers usually model the flow and pressure dynamics by simplified equations based on the law of friction of the pipes and the law of the pump characteristic curves. The head-flow relationship of a centrifugal pump is typically nonlinear and can be approximated by:

$$H = H_0 - KQ^2 \quad (1)$$

where  $H$  is head (m),  $Q$  is flow rate ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $H_0$  is the shut-off head, and  $K$  is a constant representing system resistance.

This model is used to decide the operating point of the pump curve meeting the system curve, which is used to tune the controller and optimize the system. (Åström et al., 2007).

**PID and Cascade Control Implementation.** Most industrial pump systems use Proportional Integral Derivative (PID) controllers implemented within PLC or DCS software. A cascade control structure is particularly effective for multi-variable pump systems because it allows a hierarchical feedback loop arrangement (Liu et al.):

- Inner loop (secondary controller): Controls pressure using rapid feedback from discharge pressure sensors.
- Outer loop (primary controller): Regulates flow by setting the pressure loop's setpoint based on the desired flow rate.

This dual-loop configuration minimizes disturbances and ensures both stable and precise operation. For example, if suction pressure drops unexpectedly, the inner loop reacts immediately to correct discharge pressure before it affects overall flow control.

MATLAB/Simulink simulations of such systems typically include nested PID blocks where the inner loop's response time is faster than that of the outer loop, ensuring robustness against disturbances (Åström et al., 2007).

Supervisory and Simulation Tools. Supervisory systems like SCADA (which stands for Supervisory Control and Data Acquisition) really help operators by providing a user-friendly way to keep an eye on things and adjust control settings as needed. Most engineers prefer using MATLAB/Simulink to model how the system will react before it actually gets put into action. In a typical Simulink layout, you'll find the flow control loop working alongside the pressure control loop. It includes components like simulated sensors, models of variable frequency drives (VFDs), and blocks that represent pump dynamics. This setup makes it easier to fine-tune the control settings, check how the system performs over time, and ensure safety measures are in place in case something goes wrong. (Guruprakash et al., 2020).

### Simulink Model of Cascade Control for a Pump Network

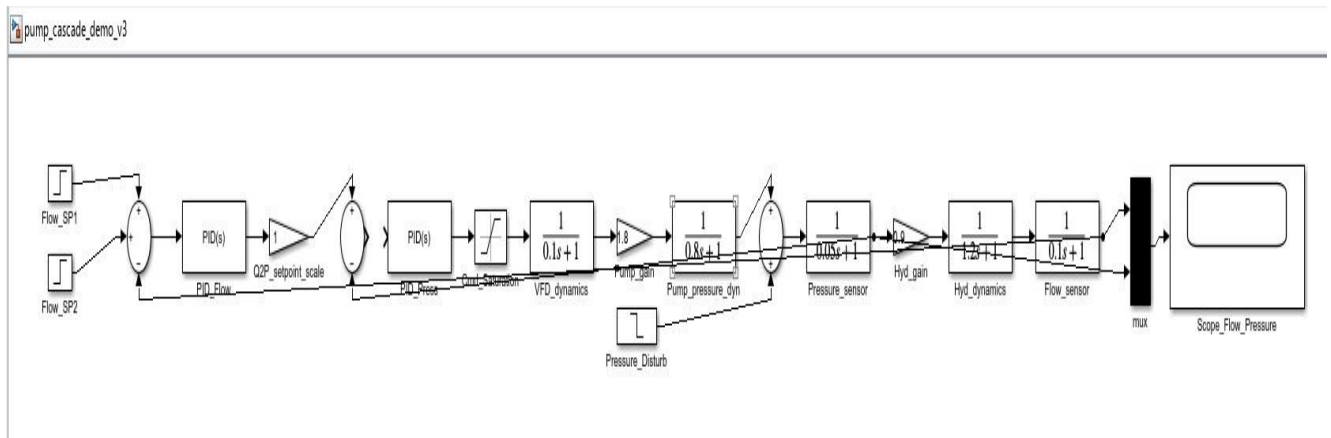
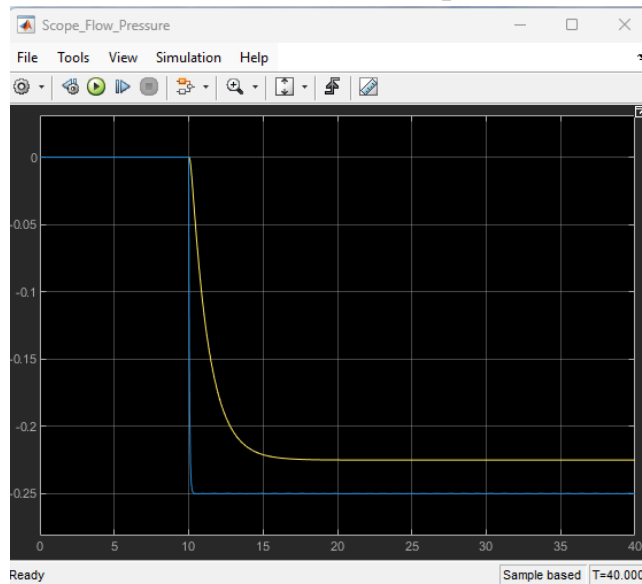


Fig. 1. Simulink Model of Cascade Control for a Pump Network

The Cascading Control Structure by the MATLAB script was constructed as this Simulink schematic. The outer loop (flow control) compares a pressure setpoint to the desired flow rate and the inner loop (pressure control) controls the discharge pressure by a Variable Frequency Drive (VFD) to the pump motor. The system also consists of sensor dynamics, actuator lags and a disturbance block which simulates alteration in suction pressure. This figure is a graphical approach to illustrate the operation of feedback and feedforward control layers in achieving constant pump functions and efficient use of energy.

This graph presents the simulation results obtained after running the cascade control model. The scope output plots the flow (Channel 1) and pressure (Channel 2) responses over time. When a disturbance occurs at  $t = 10$  s and a new flow setpoint is introduced at  $t = 20$  s, the inner pressure loop responds rapidly to reject the disturbance, while the outer flow loop gradually tracks the new target value. The results confirm that the cascade configuration provides faster disturbance rejection, improved stability, and accurate flow regulation compared to a single-loop design.

## Simulation Results: Flow and Pressure Responses



**Energy Optimization and Safety Integration.** Energy optimization and safety integration are two major areas of focus in today's oil and gas industry. Most pumping systems, whether centrifugal or positive displacement, expend a large amount of energy during extraction. Because these systems often have big motors and operate continuously, even minor adjustments to their management can have a significant impact on costs and energy consumption.

Safety regulations are very strict since oil and gas operations usually take place in dangerous settings and under great pressure. Therefore, efficiency and safety must be combined into a single intelligent, automated design in modern control systems.

For pump networks, energy optimization basically means using the least amount of power while yet fulfilling flow and pressure objectives. Control systems use characteristics like variable-speed drives, adaptive feedback, and real-time monitoring to accomplish this. The Variable Frequency Drive (VFD) is one of the best instruments for this. The VFD modifies the motor speed in response to demand rather than throttling, which wastes energy by increasing pipe friction. According to studies, depending on the system's configuration, adding VFDs to centrifugal pump systems can lower energy consumption by 20% to 50% (PumpWorks, 2025).

Take an oil pipeline, for example. There are usually several pumps running either in series or parallel to maintain the right flow and pressure. A supervisory control system (using PLC or SCADA platforms) continuously checks variables, including flow rate, suction pressure, and discharge head rather than operating all the pumps at full speed. Then, in order to save energy and maintain a smooth operation, it automatically decides which pumps should run and at what rates. Additionally, this prolongs the equipment's lifespan by minimizing heat accumulation and wear (U.S. Department of Energy (EERE)).

**Safety System Integration.** Safety system integration is really important, but safety is just as critical – maybe even more. Safety integration safeguards workers, equipment, and the environment from accidents or system failures. The same control

systems that regulate flow and energy are also made to recognize and react to dangerous situations.

Safety Instrumented Systems (SIS) and Emergency Shutdown Systems (ESD) are integral components of the main control setup and act quickly in the event of a malfunction. Sensors such as pressure transducers, temperature probes, and flow meters continuously send real-time data back to the system. If any of those readings go above safe limits, the system instantly starts taking preventative action, such as shutting off pumps, opening relief systems, or closing valves. Modern oil and gas operations aim to cut energy use while keeping the needed flow and pressure. They often use Variable Frequency Drives (VFDs), which save 20–50% in energy by adjusting motor speed instead of throttling. (DXP Pacific, 2024).

In modern facilities, safety is not a separate system – it works in tandem with energy control. For instance, if a pump starts running near its shut-off head (which is both unsafe and inefficient), the system can slow it down or open bypass valves to balance things out. The system gradually decreases the pumps during an emergency shutdown to avoid hydraulic shocks and make sure everything conforms with safety standards like IEC 61511.

Emerging Technologies in Oil & Gas Control. Currently, the oil and gas industry is undergoing a digital transformation. New technologies such as digital twins, artificial intelligence (AI), machine learning (ML), and cybersecurity-enhanced SCADA systems are revolutionizing the way control systems operate. These tools help manage complex processes, improve performance, and maintain safe operations – even when facilities are spread out across large areas.

A digital twin is a computerized representation of a real piece of equipment, like a compressor, pump, or even a pipeline system as a whole. Using real-time sensor data from SCADA and DCS systems, AI algorithms, and physics-based models, it shows how everything is working. This enables engineers to keep an eye on the health of the system, anticipate problems before they arise, and make more informed decisions to increase productivity and security.

The oil and gas industry is going through a phase of revolution in which digital integration is being driven by using advanced technologies: digital twin, artificial intelligence, machine learning, and cybersecurity-enhanced SCADA. These new technologies are changing the oil and gas industry significantly

*Conclusion.* The new control systems in this industry are vital to its development. Control systems are the backbone of the oil and gas industry. With this technology-driven world, it only makes sense for the oil and gas field to sync up with this change. These new systems--SCADA, VFDs, and PLCs help not only improve the efficiency, but also the safety and sustainability.

In all of this efficiency building, control systems also come to bring safety in the workplace. Safety mechanisms, such as Emergency Shutdown Systems (ESD) and Safety Instrumented Systems (SIS), prevent accidents by alerting the operators when there is an abnormal condition. With future installments, like AI, it will be able to alert the industrial workers when the next expected abnormality might happen. This combination of safety and energy optimization outlines the importance of intelligent automation in day-to-day operations.

## References

1. “Advanced PID Control - [Book Review].” *IEEE Control Systems*, vol. 26, no. 1, Feb. 2006, pp. 98–101, <https://doi.org/10.1109/mcs.2006.1580160>.
2. Åström, Karl Johan, and Richard M. Murray. "Feedback systems." *An Introduction for Scientists and Engineers, Karl Johan Aström and Richard M Murray* (2007): 27-64.
3. Driedger, Walter, and P Eng. *CONTROLLING CENTRIFUGAL PUMPS*. 1995.
4. DXP Pacific. (2024). *Optimize Your Pump System with a VFD*. Optimize Your Pump System with a VFD - DXP Pacific
5. Emuobosa, Andrew, et al. “Implementing Sustainable Practices in Oil and Gas Operations to Minimize Environmental Footprint.” *GSC Advanced Research and Reviews*, vol. 19, no. 3, June 2024, pp. 112–21, <https://doi.org/10.30574/gscarr.2024.19.3.0207>.
6. Guruprakash, Suparna, Sree Rajendra, and Priyanjali Singh. "Automation and supply of distributed control systems for crude oil field industries." *Int. Res. J. Eng. Technol. IRJET* 7 (2020): 6155-6161.
7. Hellman, Bryan. “Control Systems in the Oil and Gas Industry: Challenges and Innovations.” *Industrial Automation Co.*, 17 Dec. 2024, [industrialautomationco.com/blogs/news/control-systems-in-the-oil-and-gas-industry-challenges-and-innovations](https://www.industrialautomationco.com/blogs/news/control-systems-in-the-oil-and-gas-industry-challenges-and-innovations).
8. LCEC. “Types of Pumps in the Oil and Gas Industry •.” *Louisiana Chemical Equipment Company*, 16 June 2023, [www.lcec.us/types-of-pumps/](https://www.lcec.us/types-of-pumps/).
9. Liu, Xiaochao, et al. “Cascade Control Method for Hydraulic Secondary Regulation Drive System Based on Adaptive Robust Control.” *ISA Transactions*, vol. 156, Elsevier, Nov. 2024, pp. 479–89, <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2024.11.041>
10. PumpWorks. (2025a, January 16). *Optimizing pump performance with variable frequency drives (vfds)*. Pumpworks. <https://www.pumpworks.com/optimizing-pump-performance-with-variable-frequency-drives-vfds/>
11. Ragno, Maddie. “Open-Loop vs Closed-Loop Control Systems: Features, Examples, and Applications.” *RT Engineering*, 9 Aug. 2023, [www.rteng.com/blog/open-loop-vs-closed-loop-control-systems](https://www.rteng.com/blog/open-loop-vs-closed-loop-control-systems).
12. Song. “How a Hydraulic Diaphragm Pump Works in Industrial Settings.” *LOYAL*, 28 Oct. 2024, [hydraulicpump-suppliers.com/blog/how-a-hydraulic-diaphragm-pump-works-in-industrial-settings/?utm](https://www.hydraulicpump-suppliers.com/blog/how-a-hydraulic-diaphragm-pump-works-in-industrial-settings/?utm). Accessed 22 Oct. 2025.
13. Stouffer, Keith, et al. Withdrawn NIST Technical Series Publication Warning Notice Withdrawn Publication Series/Number NIST Special Publication (SP) 800-82 Revision 2 Title Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security Publication Date(S) May 2015 Withdrawal Date Superseding Publication(S) (If Applicable) Series/Number NIST SP 800-82r3 (Revision 3) Title Guide to Operational Technology (OT) Security Additional Information (If Applicable). 2023.
14. U.S. Department of Energy (EERE) Variable speed pumping: A guide to successful applications. (n.d.-b). [https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech\\_assistance/pdfs/variable\\_speed\\_pumpng.pdf](https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/variable_speed_pumpng.pdf)
15. “U.S. Energy Information Administration - EIA - Independent Statistics and

Analysis.” *Use of Oil - U.S. Energy Information Administration (EIA)*, [www.eia.gov/energyexplained/oil-and-petroleum-products/use-of-oil.php#:~:text=We%20use%20petroleum%20products%20to,intermediate%20and%20end%2Duser%20goods](http://www.eia.gov/energyexplained/oil-and-petroleum-products/use-of-oil.php#:~:text=We%20use%20petroleum%20products%20to,intermediate%20and%20end%2Duser%20goods). Accessed 21 Oct. 2025.

16. Yu, Zeyi, and Jiang Long. “Review on Advanced Model Predictive Control Technologies for High-Power Converters and Industrial Drives.” *Electronics*, vol. 13, no. 24, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Dec. 2024, pp. 4969–69, <https://doi.org/10.3390/electronics13244969>.

## **PID-BASED CRUISE CONTROL DESIGN AND OPTIMIZATION USING ROOT LOCUS ANALYSIS FOR A VEHICLE SYSTEM**

**Samuel Patchen**, student

**Rebecca Randall**, student

**Jacques van Bommel**, student

**Sophie X. Liu**, Ph.D., Senior professor

*School of Engineering, Oral Roberts University, 7777 S. Lewis Ave, Tulsa OK 74171*

*Abstract.* Cruise Control is a standard feature of modern vehicles. The proportional integral derivative (PID) controller is often the control system implemented in cruise control. This project seeks to tune the gains of a PID controller so that it meets a required percent overshoot and settling time for a 2012 Ford Escape. The controller is designed through three applications of the root locus method. This process specifies the maximum gains of each controller stage. Then, design constraints for settling time and percent overshoot are introduced to specify the gain values. Results are confirmed through three MATLAB root locus plots and Simulink simulations of the total system.

*Introduction.* Cruise control is a standard feature of nearly all modern vehicles. This intelligent system responds to driver input to maintain the vehicle at a given speed, regardless of external factors such as terrain and wind speed. Clearly, such a feature must implement a control system so it can respond to external factors while meeting the desired output of the driver. In practice, cruise control uses closed-loop feedback with a proportional-integral-derivative (PID) controller for its ability to respond in real-time [1]. The exact values of the PID controller must be calculated to tune the control system to the disturbances it is likely to face in operation.

The controller typically has to respond to three types of disturbances: road grade, wind resistance, and engine delay/variation. Road grade refers to the angle of the road with respect to the horizontal. If the road slopes upward, the controller must supply more throttle to reach the desired speed. In contrast, if the road slopes downward, the controller must reduce the throttle or begin braking to prevent extra acceleration. Wind resistance is proportional to the speed of the vehicle, the speed of the wind, and the direction of the wind with respect to the vehicle’s heading. Finally, engine delay/variation is the lag between the engine firing and the controller applying that input to the system. The goal of this research is to create a transfer function model of a vehicle’s cruise control system. First, the transfer function will be developed. Then, the

root locus method will be used to find the gain ranges for a stable system. Finally, MATLAB and Simulink will be used to evaluate the optimized gain parameters, and the results will be discussed.

*PID Controller Model.* Finding the characteristic equation of the system with variable gain(s) To obtain the characteristic equation of the cruise control system with variable gains, the dynamics of a standard vehicle traveling in one dimension should be considered. Figure 1 displays a vehicle traveling in the positive x direction with the following variables:

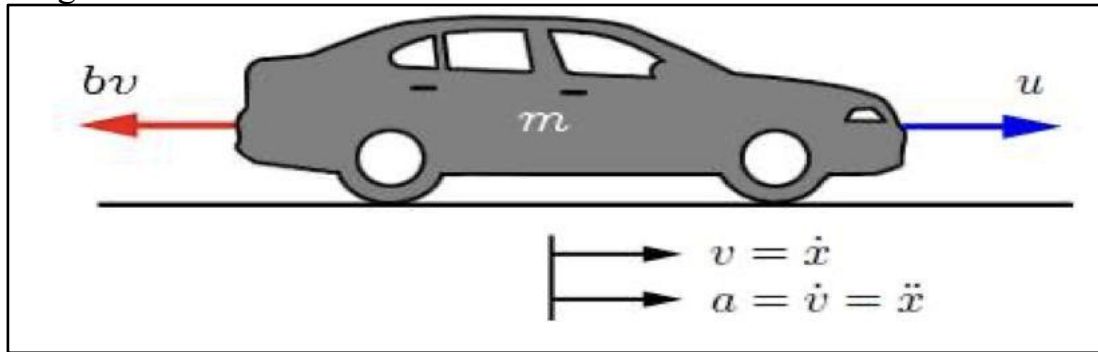


Fig. 1 One-Dimensional cruise-control diagram with  $m$  vehicle mass,  $v$  velocity,  $b$  damping coefficient, and  $u$  control force.

For the purpose of cruise control, velocity will be the variable of interest. Combining the variables into Newton's second law gives:

$$mv'(t) = u(t) - bv(t) \quad (1)$$

Where  $m$  is the mass (kg),  $v'(t)$  is the acceleration as a function of time ( $m/s^2$ ),  $u(t)$  is the control force as a function of time (N),  $b$  is the damping coefficient ( $N*s/m$ ), and  $v(t)$  is the velocity as a function of time (m/s).

Accounting for wind resistance:

$$mv'(t) = u(t) - bv(t) - F_{wind}(t) \quad (2)$$

Where  $F_{wind}(t)$  is the wind force as a function of time (N), and all other variables retain their meanings.

Accounting for gradient:

$$mv'(t) = u(t) - bv(t) - mgsin\theta(t) \quad (3)$$

Where  $mgsin\theta(t)$  is the variation in gravitational force as a function of time (N), and all other variables retain their meanings.

The output of the system will be given by  $y$ :

$$y(t) = v(t) \quad (4)$$

The dynamic system from above is then converted to the s-domain for more thorough analysis by a transfer function of the velocity based on equation (1):

$$(ms + b)V(s) = U(s) - mv(0) \quad (5)$$

The Transfer Function  $P(s)$ :

$$P(s) = \frac{V(s)}{U(s)} = \frac{1}{(ms+b)} \quad (6)$$

Using a PID compensation technique, a feedback system can be set up with plant  $P(s)$ , controller  $C(s)$ , and negative feedback  $H(s)$  [2]. The reference signal  $R(s)$  is sent through the controller  $C(s)$ , followed by the plant  $P(s)$  to obtain the output  $Y(s)$ .

$$Y(s) = P(s)C(s)H(s) \quad (7)$$

The negative feedback signal returns the measured signal  $C(s)P(s)H(s)$  to a summing point, which is an input to the controller. This produces an error signal:

$$E(s) = R(s) - C(s)P(s)H(s) \quad (8)$$

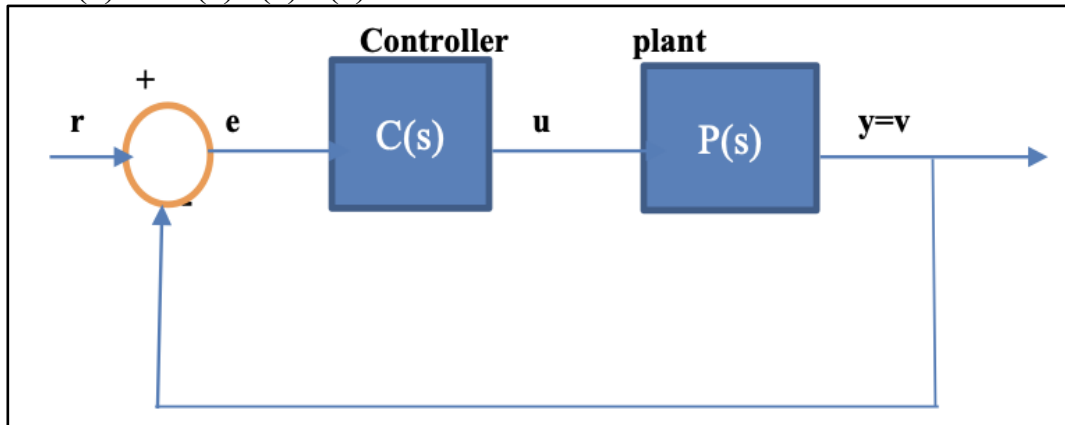


Fig. 2 Block Diagram of the Unity-feedback PID [4]

Negative feedback loops improve the system's stability as the PID reduces the error between the output and the desired output through corrective actions [2].

The PID controller consists of a transfer function involving a proportional control, integral control, and derivative control.

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{[K_d s^2 + K_p s + K_i]}{s} \quad (9)$$

In a proportional-integral-derivative controller, the proportional value  $K_p$  "determines the reaction to the current error", the Integral value  $K_i$  "determines the reaction based on the sum of recent errors", and the Derivative value  $K_d$  "determines the reaction based on the rate at which the error has been changing" [2]. The PID shapes the control signal  $u(t)$  and output  $y(t)$ , which can be viewed on a unit-step response plot. The proportional control  $K_p$  reduces the rise time and the steady-state error; the integral control  $K_i$  reduces the steady-state error, but unfortunately also increases the transient response time. Finally, the derivative control  $K_d$  increases the system's stability, reduces the overshoot, and reduces transient response [2].

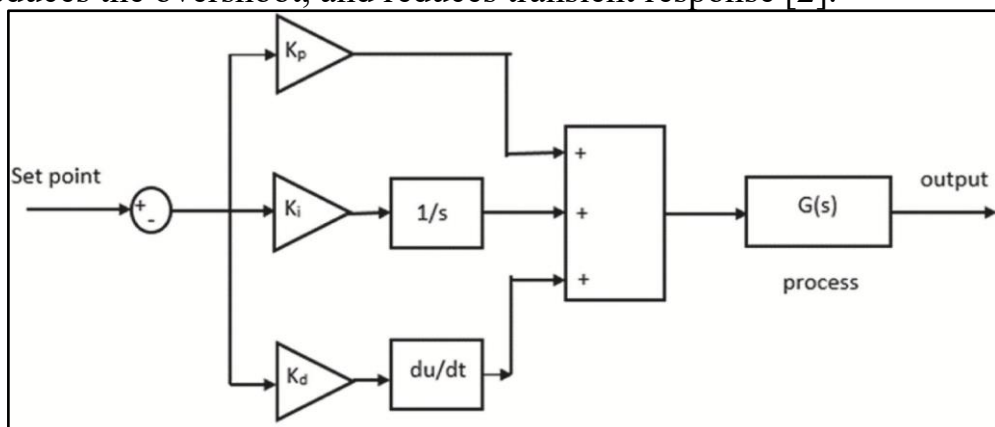


Fig. 3 Block diagram of a Proportional-Integral-Derivative Controller reproduced from [4] with  $G(s)$  as the plant  $P(s)$ , the integral control  $K_i$ , the proportional control  $K_p$ , and the derivative control  $K_d$ .

Figure 3 illustrates the PID's architecture, where the error signal is sent through the proportional control, integral control (1/s), and the derivative control (d/dt) branches with  $K_p$ ,  $K_d$ , and  $K_i$  as gains for each branch. The branches are summed before entering the plant (adapted from [4]).

The final step involves creating a transfer function  $T(s)$ , for  $Y(s)$  in terms of  $R(s)$  for the entire Unity-feedback PID system. This expression assumes unity feedback.

$$T(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{P(s)C(s)}{1+P(s)C(s)} \quad (10)$$

$$T(s) = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{(m + K_d)s^2 + (b + K_p)s + K_i} \quad (11)$$

*Optimization of Parameters.* The optimization process will use the root locus method based on equation (11). In equation (11), there are three variable gain parameters  $K_d$ ,  $K_p$ ,  $K_i$ , and two fixed parameters determined by the type of vehicle,  $m$  and  $b$ . The two fixed parameters  $m$  and  $b$  are taken from a 2012 Ford Escape, where  $m$  is 1598 kg and  $b$  is 78.4 Ns/m [Appendix A]. To use the root locus method, the characteristic equation of the transfer function must be rewritten into the form:

$$CE = 1 + KPC(s) \quad (12)$$

Where the gain parameter of interest is factored out from the open-loop gain  $PC(s)$ . Based on equation (11), the characteristic equation is identified as

$$CE = 1 + \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s(s+b/m)} \quad (13)$$

The open-loop transfer function of this characteristic equation has two zeroes and two poles. The root locus method cannot be completed on the equation in its current form; it must be modified into three separate equations, which correspond to the gain terms. The first equation used in the root locus method is

$$CE = 1 + \frac{K_p}{s(s+b/m)} = 0 \quad (14)$$

Where  $K_d$  and  $K_i$  have been set to zero. This equation is used with the root locus method and the desired system parameters to find a value for  $K_p$ . The second equation used in the optimization is

$$CE = 1 + \frac{K_d s}{s(s+b/m) + K_p} = 0 \quad (15)$$

Here, the integral gain  $K_i$  is set to zero for evaluation ease. This equation is used with the root locus method to find the upper limit for the gain  $K_d$ . The final equation used in the optimization process is

$$CE = 1 + \frac{K_i}{s(s(s+b/m) + K_p)} = 0 \quad (16)$$

Where the derivative gain  $K_d$  is set to zero for evaluation ease. The root locus method is applied to this equation to find the upper limit for the integral gain  $K_i$ .

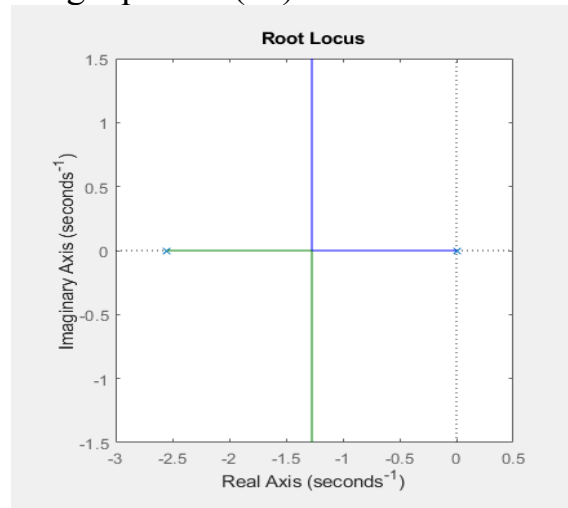
The exact values of both  $K_d$  and  $K_i$  are determined by design constraints for percent overshoot and settling time. Percent overshoot and settling time can be easily solved from a rearranged form of the characteristic equation; that new form is

$$CE = (K_d + 1)s^2 + (K_p + b/m)s + K_i = 0 \quad (17)$$

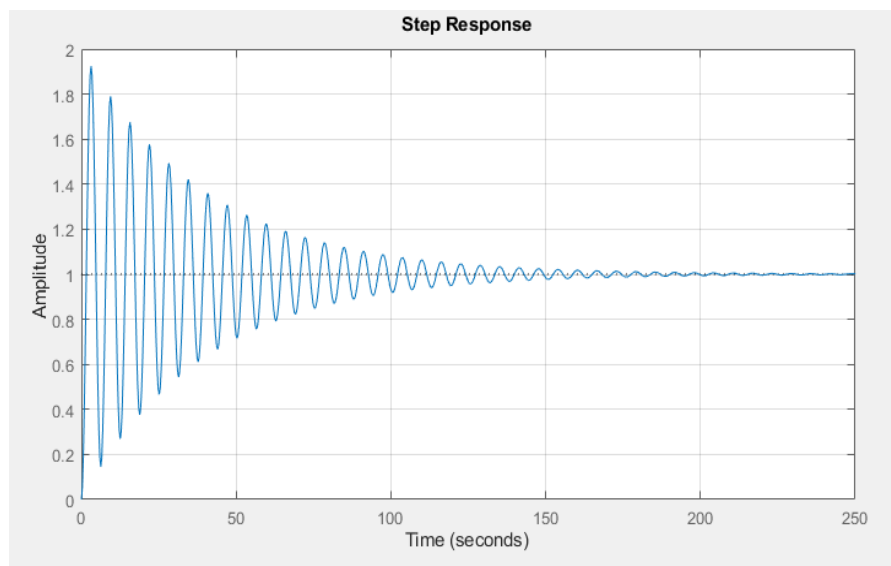
The next steps in the evaluation process are: specify design constraints, complete MATLAB and Simulink simulations, and finally, determine the necessary gain values.

Simulations. The design constraints for this project are, percent overshoot of less than 10%, and a settling time of less than 7 seconds. These parameters were chosen based on work done at the University of Michigan and University of Princeton, in which students used these values in designing a cruise control system [5, 6]. These parameters will be used in determining the values of  $K_d$  and  $K_i$ .

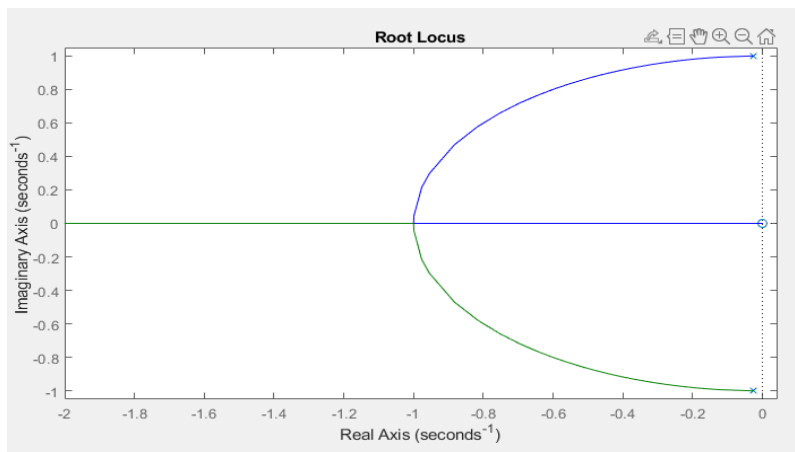
Before these values can be determined, a value must be selected for  $K_p$ . The root locus for  $K_p$  is created using equation (14) and results in the following plot.



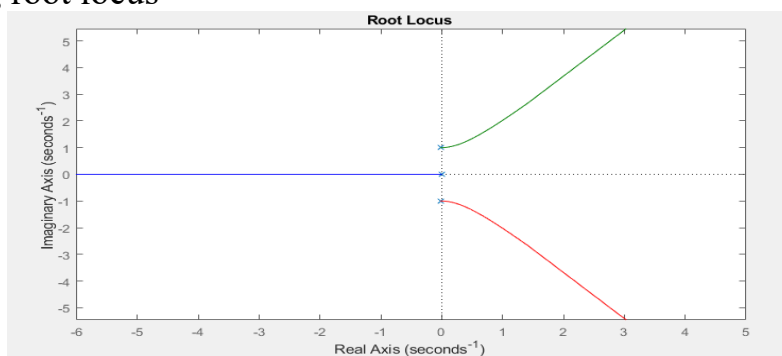
This plot shows no intersections of the roots with the imaginary axis, therefore  $K_p$  has no upper limit for stability. An attempt was made to select the value of  $K_p$  based on a design criteria in Dorf and Bishop's Modern Control Systems [9]. This criteria states that the value of  $K_p$  should result in a 75% amplitude decrease over the first period of the step response plot. However, the step response did not achieve this criteria, even with  $K_p$  set to a value of one.



The next step in the tuning process is to find the maximum stable values of  $K_d$ , and  $K_i$ . This is done through an examination of their root locus plots. Equation (15) creates the following root locus which is used to find the maximum stable value of  $K_d$ .



None of the roots in this plot cross the imaginary axis, so  $K_d$  has the same value range as  $K_p$  from zero to infinity. The final plot is created using equation (16) this gives the following root locus



Here the roots do cross the imaginary axis and the gain value at this point must be determined. The range of  $K_i$  is determined using the following characteristic equation and Routh Array: From (16)

$$CE = 1 + \frac{K_i}{s(s(s+b/m)+K_p)}$$

$$CE = s^3 + (b/m)s^2 + K_p s + K_i = 0 \quad (18)$$

$s^3$		$1$	$K_p$	$0$
$s^2$		$\frac{b}{m}$	$K_i$	$0$
$s^1$		$\frac{(b/m)K_p - K_i}{b/m}$	$0$	$0$
$s^0$		$K_i$	$0$	$0$

From the Routh Array, the upper limit for  $K_i$  is determined to be  $0.05(K_p)$ . It is important to note that this is not the maximum stable  $K_i$  for the PID controller, but for a PI controller. This is the case because equation (16) assumes  $K_d$  to be zero.  $K_p$  is selected to be 500 in the final design and so,  $K_i < 25$  from Routh array calculations using equation (18).

*Gain Determination.* For the control system to meet the constraints of having a P.O. of less than 10% and a settling time of 7seconds or less, the natural frequency  $\omega_n$  and the damping ratio  $\zeta$  will need to be calculated. These two factors will be used to gauge the range for the gains of the PID controller to ensure optimal output for the

system. The denominator of equation (11) will be used to find the characteristic equation for the system. Following this, the natural frequency and the damping ratio is calculated:

$$CE = s^2 + \frac{(b+K_p)}{(m+K_d)}s + \frac{K_i}{(m+K_d)} = 0 \quad (19)$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_i}{m+K_d}} \quad (20)$$

$$2\zeta\omega_n = \frac{b+K_p}{m+K_d} \Rightarrow \zeta = \frac{b+K_p}{2\sqrt{K_i(m+K_d)}} \quad (21)$$

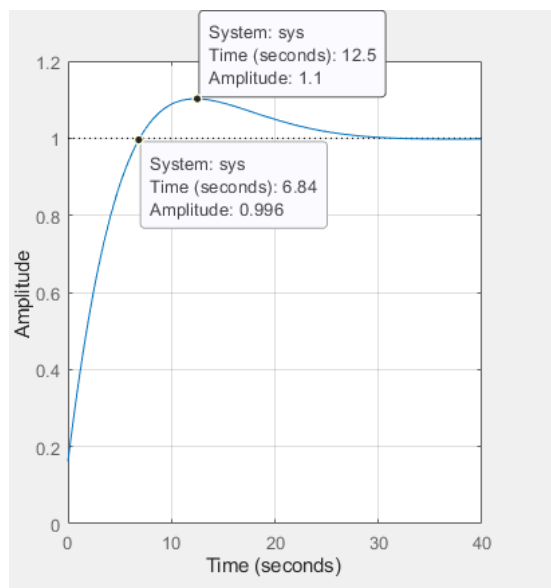
With a desired maximum percent overshoot of less than 10%, equation (22) can be rearranged to find the maximum damping ratio needed. Moreover, to achieve a settling time of 7 seconds or less, equation (23) can be used to find the natural frequency needed.

$$P.O. = e^{\left(\frac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)} \quad (22)$$

$$\zeta = \sqrt{\frac{[\ln(P.O.)]^2}{\pi^2 + [\ln(P.O.)]^2}} \quad (23)$$

$$\omega_n = \frac{3}{\zeta(T_s)} \quad (24)$$

The damping ratio should be greater than 0.591155 for the maximum percent overshoot to be less than 10% and the natural frequency should be greater than 0.72497 rad/s to achieve a settling time of 7 seconds or less. Based on (19), achieving both performance targets implies  $K_d$  to be negative regardless of the chosen  $K_i$  in its stable interval (0 to 25). Since a negative  $K_d$  is not acceptable, the two specifications cannot be met.



According to prior cruise control studies consulted for this paper, none of them imposed strict settling time constraints, likely because vehicles operate in continuously changing environments where fast and continuous adjustments are needed. As a result, the  $T_s \leq 7s$  was discarded in this work, and  $K_p$ ,  $K_i$ , and  $K_d$  were selected to achieve  $P.O. < 10\%$

through the use of equation (20) while maintaining an underdamped response and a good rise-time performance. The values obtained are listed below:

In the graph above, a P.O.  $< 10\%$  was achieved with a rise time of 6.84 seconds, and a settling time of roughly 23 seconds.

$$K_p=500$$

$$K_d=300$$

$$K_i=75$$

*Results.* After completing simulations on MATLAB and Simulink it was determined that attaining a P.O of 10% or less and a settling time of 7 seconds or less was not possible. This result is not unsettling however, as many of the papers used for this project focused on attaining minimum P.O. and Rise Time. It is understood that in real world applications of cruise control systems that the settling time is largely negligible in terms of vehicle performance and driver comfortability. A low settling time would be beneficial for a driver facing a single, momentary, external force that would offset the actual speed of the vehicle, as it would ensure the vehicle is quickly returning to desired speed. However, the external factors affecting vehicle speed are constantly fluctuating, and therefore the cruise control system is never truly settling on an output but perpetually making adjustments to throttle in an attempt to maintain desired speed. Having a low P.O ensures that the actual speed of the vehicle is both accurate and precise to the desired speed of the vehicle. Having a low Rise Time ensures that the system is activating and adjusting quickly to the changing external factors. This reduces the need of driver interference to adjust the throttle as the system will be responding quickly to the change in external factors.

*Conclusion.* A PID controller adjusted for a 2012 Ford Escape achieved a P.O.  $< 10\%$  with an underdamped response using  $K_P = 500$ ,  $K_d = 300$ ,  $K_i = 75$ . The final settling time for the cruise control system was roughly 23 seconds with a rise time of 6.84 seconds. In attempts to develop a control system that would satisfy constraints of P.O.  $< 10\%$  and a settling time of  $\leq 7$  seconds proved to be impractical as rearranging (19) implies  $K_d < 0$  for  $[0 < K_i < 25]$  which is not acceptable. In line with prior work, it was concluded that developments towards optimizing constraints for settling time would be less meaningful given the continuously varying environmental conditions that cars undergo while driving in cruise control. The  $T_s \leq 7s$  constraint was dropped to prioritize maximum overshoot, rise time, and underdamped responsiveness. The root locus plots were generated for each PID gain ( $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ) to determine the ranges for each that ensure the closed loop system remains stable. From the plots and a Routh check, the range for  $K_p$  was found to have no upper limit of stability resulting in a ( $K_p > 0$ ),  $K_d$  remained stable for all  $K_d > 0$  with no upper limit and  $K_i$  remained stable for  $0 < K_i < 25$ . These ranges were used to find the final readings. Future research could seek to find the optimally minimum percent overshoot and rise time through further tuning of the control gains,  $K_p$ ,  $K_i$ , and  $K_d$  with practical considerations.

### References

- [1] V. Vimal, K. V. Sarvesh Skandaa, M. P. Anbarasi, Int. J. Eng. Res. Tech. 14, 67, (2025)
- [2] T. Abdullah, J. Rad. Res. App. Sci., 17, 100810, (2024)
- [3] K. Sailan, K. D. Kuhnert, Comp. Sci. Inf. Tech, 1, 339-349, (2013)

- [4] R. G. Abdalla, M. A. A. Elamaleeh, *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng*, 3, 38-44, (2015)
- [5] Åström, K. J. and Murray, R. M., *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*, 65-69, Princeton University Press, 2008.
- [6] “System Modeling & Analysis — Cruise Control,” *Control Tutorials for MATLAB and Simu-link (CTMS)*, Univ. of Michigan. [Online], (Accessed 2025)
- [7] MOOG Steering & Suspension, “80658 Problem Solver Front Coil Springs,” *CARiD*, (Accessed 2025)
- [8] J. Kasprzak, “Understanding Your Dampers: A Guide,” *KAZ Technologies*, (Accessed 2025)
- [9] R. C. Dorf and R. H. Bishop, *Modern Control Systems*, 14th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Prentice Hall, 2022

## **MODERNIZATION OF A LEGACY FORMULA SAE**

**Kolby Mostrom**, Student

**Prem Thannickal**, Student

**Samuel Patchen**, Student

**Danny Peirce**, Student

**Agnel Harry**, Student

**Jacques van Bommel**, Student

**Joshua Nwaneli**, Student

**Prince Tanguli**, Student

**Gerrit Van De Keift**, Student

**Dr. Dominic Halsmer**, P.E. Faculty Advisor

*Oral Roberts University, School of Engineering*

Project Lazarus is Oral Roberts University’s attempt to return to Formula SAE competition by reviving a partially built race car first developed in 2009 and transforming it into a machine capable of passing modern technical inspection. The team’s purpose was not merely to restore an old vehicle, but to carry out a disciplined engineering modernization program that would align the legacy platform with the 2026 Formula SAE rules and prepare it for competition at Michigan International Speedway in May 2026. Because the inherited car had been designed under a very different rule set and had been left with incomplete documentation, the project quickly became an exercise in reverse engineering, subsystem integration, and design verification rather than a simple continuation of earlier student work.

The project was organized around several interdependent subsystems: chassis and drivetrain, suspension and steering, electrical architecture, safety and ergonomics, and aerodynamics. This division allowed the team to compare the old vehicle against the 2026 rulebook and decide, in each area, what could be retained, what had to be redesigned, and what required new validation. Across the report, a common philosophy is visible: reuse legacy components only when they can be justified by inspection, calculation, or testing, and redesign any part that threatens compliance, structural integrity, packaging, or safety. This approach preserved resources while still treating

the 2026 rules as the governing standard rather than treating the 2009 car as an unquestioned template.

The chassis became the central engineering problem because inspection of the legacy frame revealed multiple disqualifying deficiencies. Physical cockpit templates showed that the old structure did not satisfy the required internal clearance envelope, several tubes did not meet the minimum size requirements, and the frame lacked sufficient triangulation for current structural expectations. Uncertainty about wall thickness and the absence of reliable legacy documentation further weakened confidence in the old frame. In response, the team selected a new steel space-frame concept built from AISI 4130 chromoly tubing. This decision favored reliability, rule clarity, weldability, and cost control over the higher complexity of a composite monocoque. A target wheelbase of 1600 mm was chosen to balance maneuverability, packaging, transportability, and compliance with the minimum rule requirement.

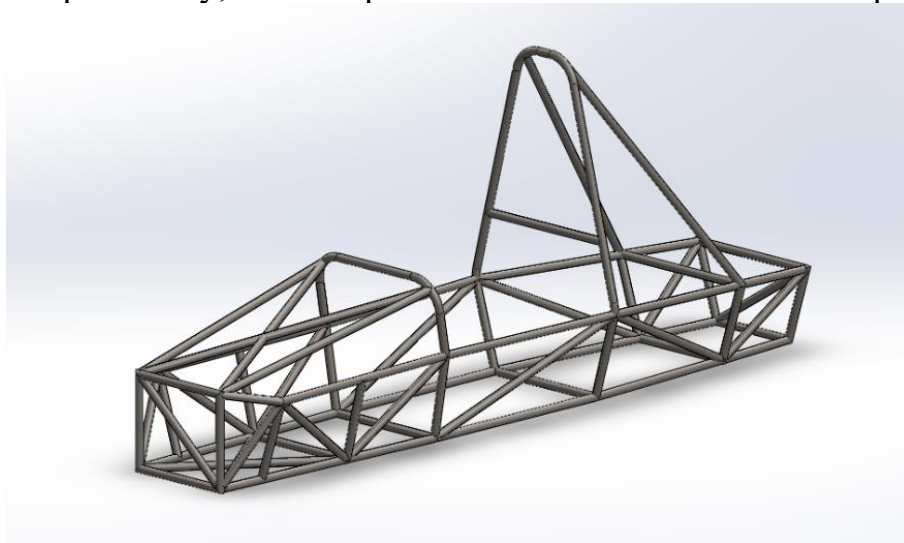


Fig. 1 Final Chassis Design

The chassis development process was highly iterative. Early concepts based on the 2025 rules were partially abandoned once the 2026 rules were released, forcing the team to reset node placement and rework the side-impact structure, front hoop geometry, and suspension hardpoints. Subsequent revisions improved manufacturability and compliance by reducing awkward tube coping, aligning bends with structural nodes, and restoring cockpit-template clearance. Finite element analysis in SolidWorks was then used to compare revisions in torsional rigidity, bending stiffness, buckling behavior, and mass. In the final simulated configuration, the chassis produced a torsional stiffness of 1,674 ft-lb/deg under a 3,348 ft-lb moment, while the bending simulation showed a maximum vertical displacement of 0.0896 in and a peak stress of 5,044 psi. A later physical torsion test on the welded chassis showed no measurable angular deflection at 2,100 ft-lb, suggesting that the real structure exceeded the minimum acceptable stiffness established during the design phase.

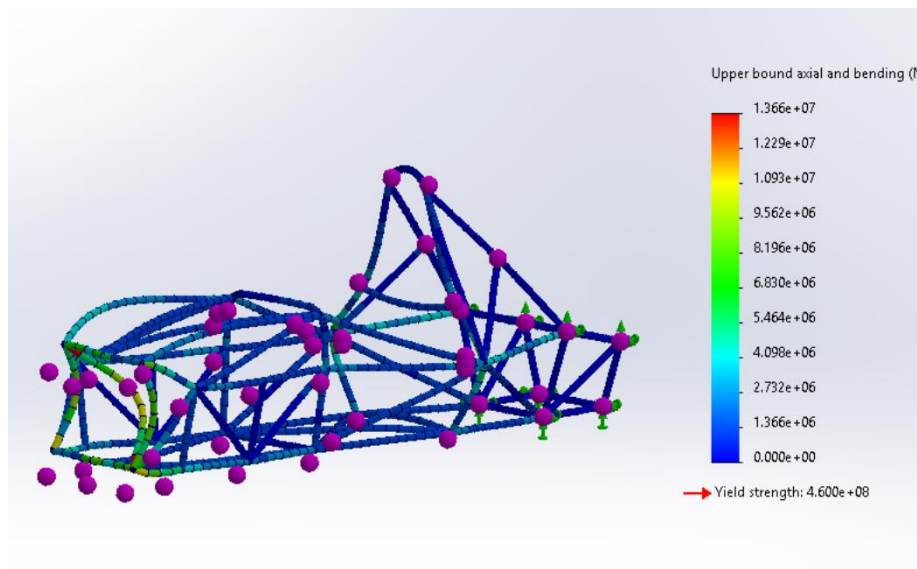


Fig. 2 Simulation of Chassis Impact

The suspension team followed a similarly practical strategy. Rather than replacing everything, the team validated existing uprights and selected legacy rear components for reuse while redesigning the front suspension to match the new chassis geometry and present-day performance needs. Modern Formula SAE practice was studied through benchmarking of double-wishbone layouts, pushrod and pullrod actuation, and kinematic goals such as camber gain, bump-steer control, and roll-center stability. New front control arms, wheel-hub interfaces, rockers, and steering components were developed so that the updated car could better exploit tire contact patch behavior and cornering response while still respecting rule requirements for wheel travel, damping, steering limits, and fastener retention. In effect, the suspension work did not seek novelty for its own sake; it sought a balanced package in which selective reuse, adjustability, and manufacturability supported predictable handling.

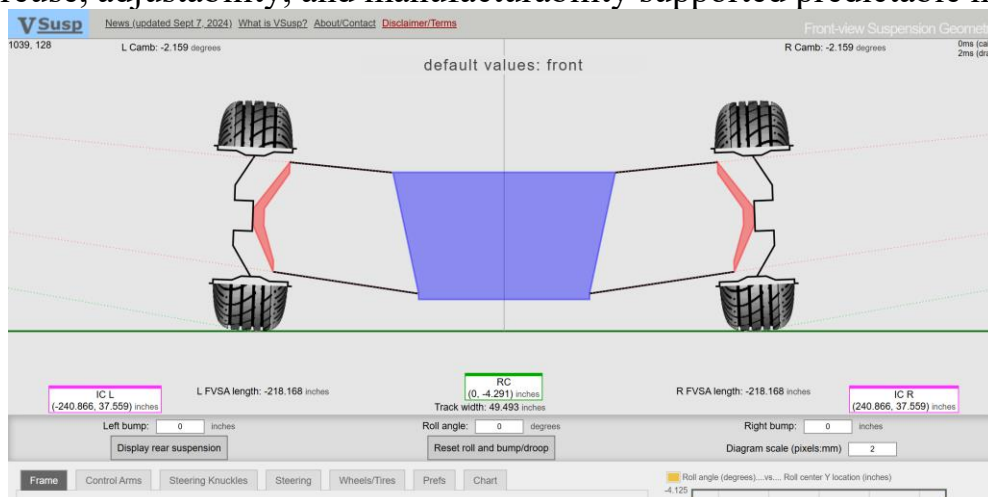


Fig. 3 Simulation of Rear Suspension Assembly

The electrical system required one of the deepest acts of reverse engineering in the entire project. The legacy harness first had to be mapped into an “as-is” architecture so that the team could understand power distribution, grounding, starter logic, sensor interfaces, and ignition behavior. From that baseline, a rules-compliant “to-be”

electrical system was developed around the GSX-R600 powertrain. Particular attention was given to the shutdown system required by the 2026 rules. The revised design integrated the primary master switch, cockpit emergency stop, and brake over-travel system so that ignition and fuel supply could be interrupted in a safe and verifiable manner. The team also traced relay logic, diagnosed junction and fuse issues, and documented corrective actions that enabled initial startup validation. This electrical work was not only essential for present competition readiness; it also created the diagrams and logic maps needed for future troubleshooting and knowledge transfer.

Safety and ergonomics were treated as design drivers rather than afterthoughts. The team modeled the cockpit around the 95th-percentile male template, often referred to as Percy, to verify compliance with internal cross-section and cockpit-opening requirements. Driver accommodation influenced the front hoop, main hoop, side-impact structure, restraint geometry, steering placement, and egress pathway. A compliant seat and harness mounting strategy were developed, along with a firewall intended to isolate the driver from fuel, oil, and cooling systems. Head restraint provisions, roll-bar padding, and the anti-intrusion and impact-attenuation components were likewise considered as integrated parts of the safety package. The brake over-travel system deserves special note because it bridged the electrical and safety teams: its design evolved from an early toggle-switch concept toward a more robust actuation and mounting solution suited to the packaging limitations of the final chassis.

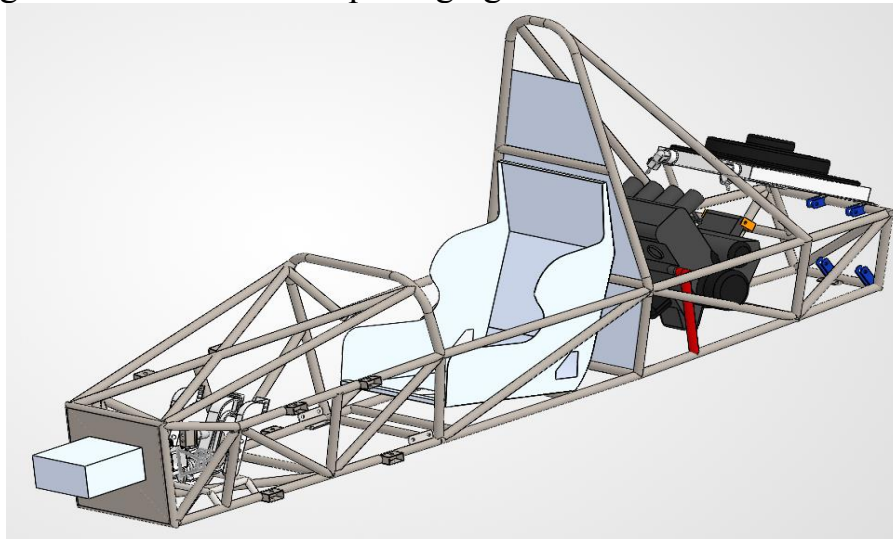


Fig. 4 Safety and Support Features added to the Chassis

The aerodynamics section of the project is narrower in scale than the chassis work but still important to the car's overall modernization. The team treated airflow management as a combination of drag reduction, cooling support, and intake optimization. Body panels and possible downforce-producing surfaces were developed within the dimensional limits of the rules, while the intake system was designed around the mandatory 20.0 mm restrictor for the internal-combustion class. Computational fluid dynamics studies were used to refine the venturi restrictor and later plenum iterations, with the goal of preserving flow quality and engine breathing while remaining legal. In a student competition context, this matters because even modest aerodynamic or intake improvements can have outsized effects on endurance

performance, drivability, and thermal reliability when they are integrated with the rest of the vehicle rather than designed in isolation.

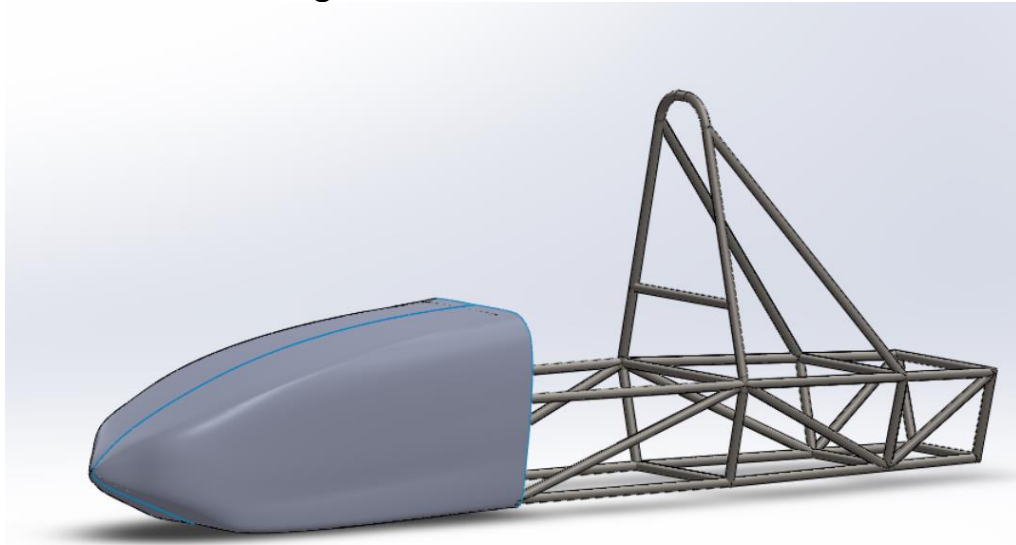


Fig. 5 Front Nose Cone Concept

Taken together, Project Lazarus is best understood as a compliance-centered engineering resurrection. The report shows that the team did not simply polish an old design; it identified where the inherited vehicle was structurally obsolete, where selective reuse could save time and cost, and where simulation, fabrication planning, and test evidence were needed to justify each subsystem decision. The outcome is a thoroughly documented transition from a dormant 2009 platform to a substantially redesigned 2026-ready Formula SAE car. Just as importantly, the project leaves behind a body of organized design logic, CAD practice, wiring documentation, and fabrication knowledge that can serve future ORU teams. In that sense, Lazarus is both a race-car project and an institutional restart: a proof that disciplined student engineering can recover lost momentum and turn a legacy chassis into a viable competitive foundation.

#### **References**

1. Formula SAE. Formula SAE Rules 2026. Version 1.0, Sept. 2025.
2. Abeykoon, Thejana. Design and Integration of an Electrical System for a Combustion Formula-SAE Race Car. Monash University, 2019.
3. Baker, Christopher Scott. Formula SAE—A Space Frame Chassis Design. University of Southern Queensland, 2004.
4. Milliken, William F., and Douglas L. Milliken. Race Car Vehicle Dynamics. Society of Automotive Engineers, 1995.
5. Kumar, Prajwal M. P., Vivek Muralidharan, and G. Madhusudhana. “Design and Analysis of a Tubular Space Frame Chassis of a High Performance Race Car.” International Journal of Research in Engineering and Technology, vol. 3, no. 2, 2014, pp. 497–501.

**СЕКЦІЯ  
ТЕХНІЧНЕ ПЕРЕОСНАЩЕННЯ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА,  
АВТОТЕХНІЧНА ЕКСПЕРТИЗА ТА БЕЗПЕКА ДОРОЖНЬОГО РУХУ**

**CYCLING THROUGH ‘KISSING GATES’:  
BALANCING SPEED REDUCTION, RIDING COMFORT, AND FALL RISK**

**Aliaksei Laureshyn<sup>1\*</sup>,  
Carl Johnsson<sup>1</sup>,  
Jenny Eriksson<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Lund University, Sweden

<sup>2</sup> Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), Sweden  
e-mail: aliaksei.laureshyn@tft.lth.se

Kissing gates are frequently used as a traffic calming measure for cyclists, for example at locations with limited visibility where the bicycle path crosses pedestrian or motor vehicle road. The solution consists of two gates blocking part of the path from each side and forcing the cyclists into an S-shape trajectory that eventually makes them slow down (Figure 1).



Figure 1 Two-sided kissing gates, a photo from the experimental setup

The geometrical design of the kissing gates has direct impact on their performance. Wide passage will not have any noticeable speed reduction effect, while too narrow gates may force to reduce the speed to such a degree that it becomes difficult to keep the balance of the bicycle. Another issue is the growing variety of the bicycle types in traffic and their physical dimensions, e.g. cargo bicycles, velomobiles, and bicycle with trailers (Figure 1).

In this experimental study, we evaluated the effect of the kissing gates' geometry on the minimal speed of the cyclists during the passage. A total of 37 cyclists with

various types of bicycles (including cargo bikes and velomobiles) tested 12 different combinations of gate distances and overlaps (Figure 2). The passages were video filmed which allowed later to extract the trajectories and speed profiles of the cyclists.

The study shows that current recommendations found in the handbooks for bicycle infrastructure (distance 1.5 m, overlap 0.5 m—SKL (2010)) force cyclists to slow down to speeds below 10 km/h, at which balancing the bicycle becomes a challenge. Furthermore, larger bicycles have significant difficulties passing through the current standard design. Our recommendation is that for kissing gates intended primarily for speed reduction (and not for blocking the passage or forcing cyclists to step off the bike and walk instead), a longitudinal distance of 2.5 meters and an overlap of 0.5 meters should be used.

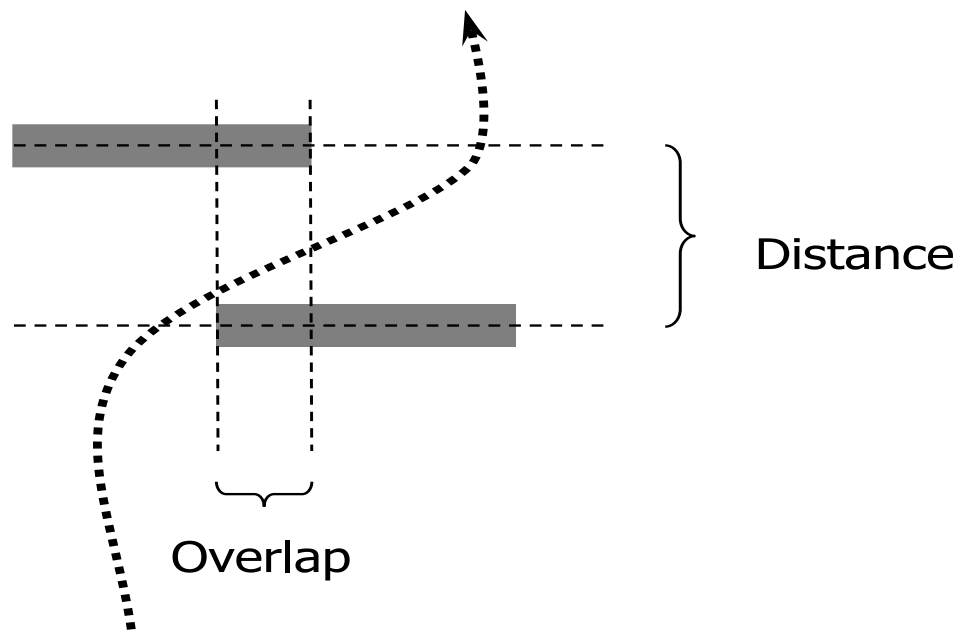


Figure 2 Kissing gates geometry

The problem of losing balance and associated fall risks is not to be taken lightly. Despite heavy under-reporting in the official accident statistics, injuries resulting from falls when cycling (single bicycle accidents) are known to be a major traffic safety problem in Sweden. Both for injuries of all severity levels, and for serious injuries only, the share of fall accident is about 78%–79%. To compare, the corresponding shares of injuries resulting from bicycle–motor vehicle collisions are around 11% (Eriksson et al., 2022).

However, there are no existing methods for grading infrastructure solutions with regard to the fall risks they may pose. We attempted to address this gap. The suggested method considers two most typical fall scenarios—pitching over the handlebars and skidding while negotiating a curve. The first scenario may develop when a cyclist decelerates at a such high rate that the back wheel loses contact with the surface (the situation is more likely to happen on a downhill slope). The second scenario occurs in a combination of high speed and a small radius of the curve (the centrifugal force exceeds the kinetic friction limits).

Based on the trajectory data available from the video, it is possible to calculate the current speed, turning radius, and the deceleration rate of the bicycle. The current

bicycle state is compared to the boundary conditions when the loss of balance becomes imminent. As such, the method provides a set of indicators continuously measuring how close a bicycle is to its limits of stability.

The limited number of passages and no falls observed in the current study do not allow for proper validation of the method. One can, however, speculate about how such method can be applied for long-term observations involving thousands of cyclist passage (e.g. several weeks of observations in real-world locations). With such data set, statistical methods like Extreme Value Theory (EVT) may be applied to estimate the frequency of actual falls (or at least the cases of losing stability, since not every such case will result in a complete fall) based on observation of sufficient number of 'near-fall'-incidents.

We invite the audience for feedback on this innovative approach to use surrogate measures/traffic conflict thinking (Laureshyn & Saunier, 2025) in application on single bicycle accidents.

The study is described in more detail in a Swedish report (with extended English summary) by Johnsson et al. (2026).

### References

Eriksson, J., Henriksson, P., & Rizzi, M. (2022). *Oskyddade trafikanter i blandning i olyckor och deras skadefall: En jämförande studie mellan fotgängare, cyklister, mopedister och motorcyklister* (VTI rapport 1133). <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1669879/FULLTEXT01.pdf>

Johnsson, C., Eriksson, J., Chen, Z., Gildea, K., & Laureshyn, A. (2026). *Cyklisters interaktion med infrastrukturen: Metoder för riskmätning och utformning av hinder* (Rapport 1:2026). Institution för teknik och samhälle (LTH). <https://doi.org/10.55329/jmnu7217>

Laureshyn, A., & Saunier, N. (2025). Surrogate measures of safety: site-based observations. In A. Laureshyn, N. Agerholm, & M. Sucha (Eds.), *Traffic safety data: the way to better knowledge and better traffic safety*. IET. [https://doi.org/10.1049/PBTR028E\\_ch9](https://doi.org/10.1049/PBTR028E_ch9)

SKL. (2010). *Gcm-handboken: Utformning, drift och underhåll med gång-, cykel- och mopedtrafik i fokus*. Sveriges Kommuner och Landsting.

УДК 656.13:343.98

## АВТОТЕХНІЧНА ЕКСПЕРТИЗА ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Степанов Олексій Вікторович, д.т.н., професор,  
Сліпуха Тетяна Іванівна, асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України,  
e-mail: o.stepanov@nubip.edu.ua

Сучасний розвиток транспортних систем супроводжується зростанням інтенсивності дорожнього руху, ускладненням транспортної інфраструктури та підвищенням вимог до безпеки перевезень. У таких умовах питання об'єктивного встановлення причин дорожньо-транспортних пригод та

запобігання їх повторенню набуває особливої актуальності. Одним із ключових інструментів, що забезпечує науково обґрунтований аналіз обставин дорожньо-транспортних пригод, є автотехнічна експертиза. Її значення виходить за межі суто процесуального застосування, оскільки результати експертних досліджень формують основу для удосконалення системи управління безпекою дорожнього руху, розроблення профілактичних заходів та підвищення ефективності функціонування транспортної галузі в цілому.

Автотехнічна експертиза є складною міждисциплінарною сферою, яка поєднує положення теорії руху транспортних засобів, механіки, матеріалознавства, криміналістики та інформаційних технологій. Основною її метою є встановлення технічних аспектів дорожньо-транспортної пригоди, зокрема визначення швидкості руху транспортних засобів, траєкторій їх переміщення, можливості уникнення зіткнення, технічного стану транспортних засобів та впливу дорожніх умов на розвиток події. При цьому важливим є не лише відтворення механізму пригоди, а й оцінка дій учасників руху з точки зору відповідності вимогам нормативних документів та правил дорожнього руху.

Сучасний етап розвитку автотехнічної експертизи характеризується активним впровадженням цифрових технологій, що суттєво підвищує точність та обґрунтованість експертних висновків. Використання спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання дорожньо-транспортних пригод дозволяє відтворювати складні динамічні процеси з урахуванням великої кількості параметрів, включаючи характеристики транспортних засобів, дорожнього покриття, погодних умов та поведінки водія. Застосування методів чисельного моделювання та комп'ютерної симуляції забезпечує можливість аналізу різних сценаріїв розвитку подій і визначення найбільш імовірного механізму пригоди, що значно підвищує достовірність експертних досліджень [1].

Важливим напрямом розвитку автотехнічної експертизи є інтеграція даних, отриманих із сучасних транспортних засобів, оснащених електронними системами контролю та реєстрації параметрів руху. Так звані реєстратори подій (Event Data Recorder) дозволяють отримувати об'єктивну інформацію про швидкість руху, положення органів керування, режими роботи двигуна та інші параметри безпосередньо перед виникненням дорожньо-транспортної пригоди. Використання таких даних у процесі експертного дослідження суттєво зменшує рівень невизначеності та дозволяє більш точно відтворити обставини події [2].

Значний потенціал для підвищення ефективності автотехнічної експертизи має застосування методів обробки великих даних та штучного інтелекту. Аналіз великих масивів інформації про дорожньо-транспортні пригоди дозволяє виявляти типові закономірності, встановлювати фактори ризику та прогнозувати ймовірність виникнення аварійних ситуацій. Це створює передумови для переходу від індивідуального аналізу окремих пригод до системного підходу, спрямованого на підвищення безпеки дорожнього руху в цілому. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє автоматизувати окремі етапи експертного дослідження, зокрема обробку даних, ідентифікацію параметрів руху та оцінку можливості уникнення пригоди [3].

Разом з тим, ефективність автотехнічної експертизи значною мірою залежить від якості вихідної інформації, що використовується у процесі дослідження. Недостатність або неточність даних про обставини пригоди, технічний стан транспортних засобів або дорожні умови може призводити до зниження достовірності експертних висновків. У цьому контексті особливого значення набуває розвиток систем фіксації дорожньо-транспортних пригод, включаючи використання відеоспостереження, безпілотних літальних апаратів та мобільних додатків для збору інформації на місці події. Забезпечення повноти та достовірності вихідних даних є необхідною умовою підвищення якості експертних досліджень. Суттєвим аспектом є також нормативно-правове забезпечення автотехнічної експертизи, яке визначає методичні підходи до проведення досліджень, вимоги до експертів та порядок використання результатів експертизи у судовому процесі. Удосконалення нормативної бази з урахуванням сучасних технологічних можливостей є необхідною умовою підвищення ефективності використання автотехнічної експертизи як інструменту забезпечення безпеки дорожнього руху [4].

Перспективи розвитку автотехнічної експертизи пов'язані з подальшою цифровізацією транспортної галузі, впровадженням інтелектуальних транспортних систем та автоматизованих засобів управління рухом. Зокрема, інтеграція експертних систем з інформаційними платформами управління дорожнім рухом дозволить використовувати результати експертних досліджень для оперативного прийняття управлінських рішень, спрямованих на запобігання аварійним ситуаціям. Крім того, розвиток технологій автономного транспорту потребує адаптації методів автотехнічної експертизи до нових умов, пов'язаних із необхідністю аналізу алгоритмів роботи автоматизованих систем керування транспортними засобами.

Узагальнюючи викладене, можна стверджувати, що автотехнічна експертиза є важливим інструментом підвищення безпеки дорожнього руху, який забезпечує науково обґрунтоване встановлення причин дорожньо-транспортних пригод та створює передумови для їх попередження. Впровадження сучасних цифрових технологій, удосконалення методичного та нормативного забезпечення, а також інтеграція експертних досліджень у систему управління транспортними процесами дозволять суттєво підвищити ефективність використання автотехнічної експертизи та сприятимуть зниженню рівня аварійності на дорогах.

#### **Література:**

1. Коваленко В. І. Судова автотехнічна експертиза: теоретичні основи та практика. Київ: НТУ, 2021.
2. Бойко Г. В. Використання даних реєстраторів подій у дослідженні ДТП. Автомобільний транспорт, 2022, № 50, с. 112–118.
3. Птиця Г. Г., Абрамова Л. С. Аналіз підходів до реалізації системи управління безпекою дорожнього руху в Україні. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, 2024, № 17, с. 33–41.
4. European Commission. Road Safety and Accident Investigation. Brussels, 2022.
5. OECD. Road Safety Annual Report. Paris, 2023.

УДК 631.15:658.27

## **ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ МОБІЛЬНОСТІ ПАСАЖИРІВ У ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ**

**Бондарєв Сергій Іванович**, к.т.н., доцент,

**Блюмкін Юрій Віталійович**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: urabljumkin@gmail.com

У нинішніх наукових працях, критерії, які зазнають варіацій, охоплюють «звичай використання транспорту» та «мобільність». У межах нашого дослідження було виявлено розбіжності концептуального й методичного характеру між цими термінами. Ми виокремлюємо два головні підходи до їхнього осмислення: адміністративний та теоретично-практичний. Адміністративний аспект фокусується на мобільності, тоді як теоретико-практичний розкривається через поняття переміщення. Концепція «транспортної поведінки» асимілює відомості, здобуті за допомогою як кількісних, так і якісних методів, розглядаючи її як низку взаємодій між користувачами й транспортною мережею.

Корисність транспортних сервісів є вирішальним фактором, що детермінує користування транспортом та формування «звичай використання транспорту». Ця корисність для перевізника визначається співвідношенням його очікувань та «витрат». Звідси постає питання кореляції між вартістю та рівнем транспортних послуг.

Мобільність безпосередньо пов'язана із добробутом суспільства, рівнем його культури, розвитком продуктивних потужностей, а найголовніше – із розбудовою транспортної мережі [1].

Запити щодо транспорту формуються відповідно до рівня транспортної рухливості населення. Рухливість може бути визначена через співвідношення кількості пасажирів транспорту до загальної кількості мешканців певної території, індивідуальною рухливістю окремих категорій пасажирів (студенти, працюючі, пенсіонери тощо) та цілями подорожей. Показники рухливості свідчать про частоту, з якою той чи інший сегмент користувачів послугами користується перевезеннями [2, 3]. Стандарти якості у пасажирських перевезеннях регламентуються законодавчими актами [3]. Проте сам параметр якості не завжди враховується у контексті оцінок цих послуг самими споживачами.

Транспортні суб'єкти переважно орієнтуються на задекларовані стандарти якості, аніж на актуальні потреби пасажирів. Для кожної з цих сфер оцінки система встановлює сукупність критеріїв, згрупованих на одному із трьох рівнів [4]: інтегровані показники якості; базові показники якості; «індикативні» показники якості.

Таким чином, внутрішнє сприйняття якості надання послуг громадського транспорту у низці його аспектів є доволі суб'єктивним явищем. З огляду на це, ми пропонуємо власне обґрунтування якісних параметрів транспортної послуги

у сфері громадського пасажирського транспорту, базуючись на проведених кількісних дослідженнях різних соціальних верств населення у великих містах України. Для уніфікації показників якості нами проведений ABC аналіз по основним групам населення - студенти, населення, яке використовує громадський транспорт за діловою спрямованістю, пенсіонери та ін.

Показники в категорії «А» набрали майже в 2 рази більше балів ніж «В» і аналогічно відношення груп «В» і «С». «Надійність транспортного засобу (безпека)» оцінений і є у групі «В» (8 %). Більшість пасажирів вважають, що цей показник має бути контрольований організаторами перевезень.

Також проведені опитування пасажирів щодо ціни на перевезення. Їхня думка розділилась по соціальним групам населення, але загальна тенденція майже однастайна. Зрозуміло, що наявним на даний час громадським транспортом постійно користуються громадяни у яких цей транспорт являється єдиним видом транспорту і вони мають середній і нижче середнього достаток. Левова частка респондентів готові платити більше за квиток, особливо, якщо будуть задовольнятися показники якості групи «А».

### **Література**

1. Управління якістю автомобільних перевезень : навчальний посібник. / С.І. Бондарев. – К.: Компрінт, 2019. 512 с.
2. Марчук І. І. Формування критеріїв забезпечення системної ефективності пасажирських перевезень : Вісник Національного транспортного університету / І. І. Марчук.– К.: Вип. 9, 2004. – С. 238–242.
3. Вдовиченко В. О. Оцінка ресурсних можливостей міського пасажирського транспорту : Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. / В. О. Вдовиченко. – Дніпропетровськ.: – Вип. 8. 2014– С. 35–39.
4. Бондарев С. І.. Актуальні проблеми на пасажирському транспорті та взаємовідносин з державою : Збірник тез доповідей. VI Міжнародна науково-практична конференція «Автомобільний транспорт та інфраструктура» // С. І. Бондарев. – К.: 2023. – С. 14-16.

УДК 614.82

## **ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМИ ВІДСТЕЖЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ НЕБЕЗПЕК НА АВТОТРАНСПОРТНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ**

**Войналович Олександр Володимирович**, к.т.н., доцент,

**Мотрич Михайло Миколайович**, к.т.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*e-mail: voynalovich@nubip.edu.ua,*

Об'єктивне виявлення можливих небезпек на робочих місцях автотранспортного підприємства (АТП) залишається актуальним завданням, спрямованим на запобігання випадкам виробничого травматизму, професійних хвороб та аварій. Процес виявлення можливих виробничих небезпек є основою

для мінімізації професійних ризиків і розроблення ефективних заходів для створення безпечних умов праці.

Галузь автомобільного транспорту в Україні оцінюють як травмонебезпечну не лише через високий ризик дорожньо-транспортних пригод (ДТП), а внаслідок великої кількості небезпек, що супроводжують роботи на АТП [1].

У літературних джерелах акцентують на високому рівні виробничих ризиків під час виконання окремих робіт на АТП, мобільності робочого довілля та складності технологічних процесів у транспортному секторі. Аналізують проблеми дотримання нормативів безпеки на автотранспорті, зокрема, недостатній рівень працезохоронних знань працівників автотранспортної галузі, наголошують на необхідності оновлення наявних систем управління безпекою праці та їх адаптування до сучасних вимог охорони праці.

Тому методологія оцінення професійних ризиків повинна базуватися на системі виявлення та відстеження небезпек і шкідливостей на робочих місцях. Довільне (безсистемне) фіксування виробничих небезпек призводить до суб'єктивності оцінення професійних ризиків, як наступного етапу управління ними. Більшість поширених методів оцінення професійних ризиків [2] вимагають всебічного дослідження виробничих небезпек і шкідливостей, а вже на результатах такого дослідження ризики на робочих місцях буде неупереджено оцінено та співставлено з прийнятними (допустимими) рівнями.

Автотранспортні підприємства здебільшого характеризуються різноманітністю змінюваних робіт, що дозволяють виконувати задані маршрути та підтримувати у справному стані автомобілі, а отже для всіх робочих місць АТП необхідно розробити процедуру не лише фіксування найбільш значущих небезпек, а й алгоритми їх контролювання (відстеження) [3].

Мета досліджень. Розробити, обґрунтувати і систематизувати елементи (структуру, складники тощо) системи відстеження потенційних небезпек (СВПН) на АТП, як основу ризик-орієнтованого підходу.

Методика досліджень. У цій роботі для аналізу виробничих небезпек використано методи систематизації та структуризації, що дозволило виокремити окремі найбільш значущі елементи СВПН. Структуру СВПН було запропоновано як узагальнення методології виявлення небезпек і шкідливостей на робочих місцях водіїв вантажного автотранспорту та працівників, які обслуговують та ремонтують автотранспортні засоби.

Результати дослідження та їх обговорення. Як складові елементи СВПН на АТП запропоновано розглянути такі питання: а) якою має бути вхідна інформація до системи та у який спосіб можна її отримати; б) аналіз незапланованих видів робіт на АТП та нештатних ситуацій, що можуть призвести до аварій і нещасних випадків; в) аналіз можливих помилкових дій працівників, які порушують вимоги чинних інструкцій з охорони праці; а вже тоді виявляти небезпеки на робочих місцях.

Структуру запропонованої у цій роботі СВПН представлено у вигляді розгалуженої блок-схеми.

Процедура виявлення та відстеження потенційних небезпек вимагає від перевіряльників (експертів), які контролюють стан безпеки на робочих місцях, професійності та компетентності. До процедури виявлення потенційних небезпек на робочих місцях потрібно залучати керівників робіт та самих працівників.

Елементи СВПН на підприємстві потрібно узагальнити у галузевих, регіональних, а далі й загальнодержавних системах відстеження виробничої безпеки та здоров'я на базі ризик-орієнтованої концепції, де використовують цифрові засоби збирання та аналітичного оброблення інформації про небезпеки на робочих місцях. Необхідно розробити структуру таких систем відстеження виробничої безпеки та здоров'я та відповідний порядок їх функціонування. У системах відстеження виробничої безпеки та здоров'я потрібно передбачити на тристоронній основі участь соціальних партнерів (профспілок, Пенсійного фонду України, представників роботодавців).

Для функціонування зазначених вище систем відстеження виробничої безпеки та здоров'я потрібно систематизувати та доповнити (зважаючи на реалії та виклики сьогодення [4]) показники (індикатори та параметри) працезохоронної діяльності. Запровадження систем відстеження виробничої безпеки та здоров'я дозволить коригувати або переглядати політику з питань охорони праці та програми для запобігання травматизму та збереження здоров'я працівників, а також формувати доказову базу в галузі безпеки та здоров'я на роботі. Але для цього необхідно удосконалити технології відстеження і оброблення інформації про виробничі небезпеки, затвердити форми для поширення отриманих даних, періодично переглядати пріоритети та завдання, що сприятиме розвитку системи відстеження (контролю) небезпек на робочих місцях

### Література

1. Renata Stasiak-Betlejewska. Occupational Risk Management in the Transport Company. System Safety Human - Technical Facility - Environment, 2022. 4(1). 135-149. DOI:10.2478/czoto-2022-0014
2. Oleksandr Voinalovych, Oleksandr Yeremenko, Tatyana Zubok, Mykhailo Motruch. Components of the system for identification and assessment of occupational risks in agricultural enterprises. 24th International Scientific Conference «Engineering for rural development», Jelgava, Latvia, 21-23.05.2025. Vol. 24. 185-191. <https://www.iitf.lbtu.lv/conference/proceedings2025/Papers/TF033.pdf>
3. Кружилко О.Є., Майстренко В.В., Володченкова Н.В., Полукаров О.І., Арламов О.Ю. Інформаційна підтримка консалтингу безпеки праці на основі системи моніторингу. *Проблеми охорони праці в Україні*, 2022. 38(1-2). 15-19. DOI: <https://doi.org/10.36804/nndipbor.38-1-2.2022.15-19>
4. Бужанська М.В. Актуальні проблеми безпеки праці під час воєнного стану в Україні. *Вісник Херсонського національного технічного університету. Соціальні та поведінкові науки*, 2023. № 4 (87). 414-418. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.54>

УДК 331.45 (075.8)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ПРАЦІ ВОДІЇВ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПІД ЧАС СЕЗОННИХ РОБІТ У АПК**

**Марчишина Є. І.**, к. с.г. н., доцент,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*marchyshyna@nubip.edu.ua*

Дослідження умов праці водіїв вантажних перевезень під час сезонних робіт у агропромисловому комплексі є актуальним у зв'язку зі зростанням обсягів перевезень у пікові періоди посівної та збиральної кампаній, коли інтенсивність транспортних операцій збільшується на 35–60 %. За даними галузевих оцінок, у період жнив тривалість робочого часу водіїв може досягати 10–12 годин на добу при нормативному значенні 8 годин, що призводить до підвищення рівня втоми на 25–40 % та збільшення ризику дорожньо-транспортних пригод на 15–20 %. У структурі виробничого травматизму в АПК частка транспортних подій становить близько 18–25 %, що свідчить про необхідність детального аналізу умов праці цієї категорії працівників.

Особливістю сезонних робіт є нерівномірність навантаження, яка супроводжується підвищеним психофізіологічним напруженням. Під час транспортування зерна, силосу чи овочевої продукції водії здійснюють від 8 до 15 рейсів на добу залежно від відстані перевезення (у середньому 15–50 км в один бік). При цьому коефіцієнт використання робочого часу перевищує 0,85, що наближається до критичного рівня. В умовах польових доріг, які у 60–70 % випадків не мають твердого покриття, значно зростає рівень вібраційного навантаження: середньоквадратичне прискорення може досягати 1,2–1,8 м/с<sup>2</sup> при допустимому значенні 0,8 м/с<sup>2</sup>. Це сприяє розвитку професійних захворювань опорно-рухового апарату та зниженню працездатності на 10–15 %.

Додатковим негативним фактором є вплив мікрокліматичних умов. У літній період температура в кабінах вантажних автомобілів без кондиціонування може перевищувати +35...+40 °С, що на 8–12 °С вище допустимих норм. Це призводить до зростання частоти серцевих скорочень на 15–20 %, зниження концентрації уваги на 20–30 % та збільшення часу реакції водія на 0,2–0,4 с. У зимовий період, навпаки, спостерігається переохолодження, особливо під час очікування завантаження чи розвантаження, коли температура в кабіні може знижуватись до +5...+10 °С.

Аналіз умов праці також показує, що рівень шуму в кабінах вантажних автомобілів під час руху польовими дорогами сягає 80–90 дБА при гранично допустимому рівні 70 дБА, що викликає хронічну втому та зниження слухової чутливості. Освітленість робочої зони в нічний час у 30–40 % випадків є недостатньою, що збільшує ризик аварійних ситуацій. Крім того, під час сезонних робіт часто спостерігається недотримання режимів праці та відпочинку: лише 55–60 % водіїв мають можливість повноцінного відпочинку між змінами.

Важливим аспектом є організація процесів завантаження та розвантаження. У 40 % випадків ці операції виконуються з порушенням вимог безпеки, що підвищує ризик травмування. Частка ручної праці під час допоміжних операцій становить до 25 %, що створює додаткове фізичне навантаження. Водночас рівень забезпечення засобами індивідуального захисту не перевищує 70–75 %, що є недостатнім для ефективного зниження професійних ризиків.

Результати досліджень свідчать, що інтегральний показник умов праці водіїв під час сезонних робіт у АПК відповідає 3 класу (шкідливі умови праці) у 65–70 % випадків. Це зумовлює необхідність впровадження комплексу організаційно-технічних заходів, спрямованих на зниження негативного впливу виробничих факторів. До таких заходів належать оптимізація маршрутів перевезень, впровадження змінного графіка роботи з урахуванням біоритмів, модернізація транспортних засобів із використанням систем амортизації та клімат-контролю, а також автоматизація процесів завантаження.

Ефективність впровадження заходів з охорони праці може знизити рівень травматизму на 20–30 %, зменшити втому водіїв на 15–25 % та підвищити продуктивність праці на 10–12 %. Таким чином, комплексний підхід до дослідження та покращення умов праці водіїв вантажних перевезень у період сезонних робіт є важливим фактором підвищення безпеки, ефективності та сталого розвитку агропромислового виробництва.

#### **Література**

1. Войналович О.В., Марчишина Є. І., Кофто Д. Г. Охорона праці у галузі (автомобільний транспорт). К. Центр учбової літератури. 2018. 695 с.
2. Войналович О.В., Єременко О.І., Марчишина Є.І., Мотрич М.М., Зубок Т.О. Охорона праці в галузі. К.: НУБіП України. 2025. 251 с.
3. Кундієв Ю.І. Гігієна праці водіїв автотранспорту. Київ. Медицина праці. 2018.

УДК 331.45 (075.8)

### **ОСНОВНІ ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ БДЖІЛ**

**Марчишина Є.,** к. с. г. н., доцент

**Оврас Р.,** студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
marchyshyev@gmail.com

Основні вимоги безпеки праці під час перевезення бджіл наведені в Правилах охорони праці у сільськогосподарському виробництві (2018). Вони є важливим елементом забезпечення виробничої ефективності та збереження здоров'я працівників і біологічної безпеки бджолиних сімей. За даними галузевих досліджень, понад 65–75 % пасік у країнах Східної Європи практикують кочівлю, що передбачає регулярне транспортування вуликів на відстані від 20 до 300 км, а в окремих випадках – понад 500 км за сезон. При цьому ризики травматизму та професійних захворювань зростають на 30–40 %

порівняно зі стаціонарним утриманням бджіл, що обумовлює необхідність суворого дотримання вимог охорони праці.

Перед початком транспортування обов'язковою є оцінка технічного стану транспортного засобу, який має відповідати вимогам безпеки перевезення живих вантажів. За статистикою, до 25 % інцидентів під час перевезення бджіл пов'язані з технічними несправностями автомобілів або неналежним кріпленням вуликів. Вулики повинні бути надійно зафіксовані за допомогою ременів або спеціальних конструкцій, що витримують навантаження не менше 2–3 g при різкому гальмуванні. Рекомендована висота штабелювання не повинна перевищувати 2 м, а відстань між рядами – не менше 0,5 м для забезпечення вентиляції.

Особливу увагу слід приділяти біологічним факторам небезпеки. До робіт з бджолами і бджолопродуктами не допускають осіб із вираженою алергічною реакцією на ужалення бджіл та продукти бджільництва (квітковий пилок, віск, прополіс, бджолину отруту).

До робіт з бджолами і бджолопродуктами не допускають осіб із вираженою алергічною реакцією на ужалення бджіл та продукти бджільництва (квітковий пилок, віск, прополіс, бджолину отруту). Під час догляду за бджолиними сім'ями необхідно неухильно дотримуватися вимог безпеки і гігієни праці, використовувати спецодяг, спеціальні засоби індивідуального захисту і димарі. Димарі заправляють і приводять у робочий стан до початку виконання робіт з бджолами.

Ужалення бджіл становлять основний ризик для працівників: за даними медичних спостережень, близько 5–7 % людей мають підвищену чутливість до бджолиної отрути, а у 1–2 % можливий розвиток анафілактичного шоку. Тому обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту, зокрема захисного одягу, рукавиць та сіток для обличчя, які знижують ризик ужалення на 85–90 %. Крім того, працівники повинні проходити інструктажі та медичні огляди не рідше одного разу на рік.

Важливим аспектом є дотримання температурного режиму під час перевезення. Оптимальна температура для транспортування бджіл становить +10...+20 °C, при цьому перевищення +30 °C може призвести до загибелі до 20–30 % бджолиної сім'ї через перегрів. Для запобігання цьому необхідно забезпечити вентиляцію, використання сітчастих вставок та перевезення у нічний або ранковий час. Дослідження показують, що нічні перевезення знижують рівень стресу бджіл на 40–50 %.

Організаційні заходи безпеки передбачають чітке планування маршруту, врахування стану доріг і тривалості перевезення. Середній час безпечного транспортування не повинен перевищувати 8–10 годин без зупинок для контролю стану вуликів. Водій повинен мати стаж не менше 3 років та пройти спеціальне навчання щодо перевезення живих вантажів. За даними транспортної статистики, людський фактор є причиною до 60 % аварійних ситуацій.

Не менш важливим є дотримання санітарно-гігієнічних норм. Вулики повинні бути попередньо очищені та продезінфіковані, що знижує ризик поширення інфекційних захворювань, таких як нозематоз чи вароатоз, на 25–35

%. Працівники повинні дотримуватися правил особистої гігієни, а також мати доступ до аптечки першої допомоги, укомплектованої антигістамінними препаратами та засобами для надання допомоги при ужаленнях.

Аналіз виробничого травматизму свідчить, що впровадження комплексної системи управління охороною праці дозволяє знизити рівень нещасних випадків на 45–55 %. До таких заходів належать регулярні інструктажі, використання сучасних засобів механізації завантаження, а також впровадження систем моніторингу умов перевезення. Економічний ефект від підвищення рівня безпеки проявляється у зменшенні втрат бджолиних сімей на 15–20 % та підвищенні продуктивності праці на 10–12 %.

Таким чином, забезпечення безпеки праці під час перевезення бджіл є багатofакторним процесом, що включає технічні, організаційні, біологічні та санітарно-гігієнічні аспекти. Дотримання встановлених вимог дозволяє мінімізувати ризики для працівників і забезпечити збереження бджолиних сімей, що є важливою умовою сталого розвитку бджільництва.

### **Література**

1. ДСТУ 12.3.002-75 ССБТ. Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки.
2. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві.
3. European Agency for Safety and Health at Work. Occupational safety in agriculture, 2022.
4. Войналович О.В., Марчишина Є. І. Охорона праці у тваринництві. К. НУБІП України. 2015. 502 с.
5. Войналович О.В., Марчишина Є.І. Білько Т.О. Охорона праці у сільському господарстві: підручник. К. Центр учбової літератури. 2017. 691 с.

УДК 331.45 (075.8)

## **ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ПЕРЕДРЕЙСОВИХ ІНСТРУКТАЖІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ВОДІЇВ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ**

**Марчишина Є.,** к. с. г. н., доцент,

**Дідиченко М.,** студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*marchyshyev@gmail.com*

Інструктажі з охорони праці проводяться з метою підвищення кваліфікації та професійного рівня водіїв, отримання необхідних знань і навичок з питань забезпечення безпеки дорожнього руху. Особливості проведення передрейсових інструктажів з охорони праці водіїв пасажирських перевезень в Україні зумовлені високим рівнем відповідальності за життя і здоров'я пасажирів, значною інтенсивністю дорожнього руху та впливом виробничих факторів, що формують підвищений рівень професійного ризику. За даними галузевої статистики, до 65–75 % дорожньо-транспортних пригод за участю пасажирського транспорту пов'язані з людським фактором, зокрема переважною водіїв, недостатнім контролем технічного стану транспортних

засобів та недотриманням вимог безпеки. У цих умовах передрейсовий інструктаж виступає ключовим елементом системи управління охороною праці, спрямованим на попередження аварійності та зниження рівня виробничого травматизму.

Передрейсовий інструктаж проводиться перед виїздом на лінію з водіями КТЗ, які виконують перевезення груп дітей, направляються вперше на міжміські перевезення пасажирів чи вантажів або залучаються до роботи з подолання наслідків надзвичайних ситуацій або стихійних лих. Передрейсовий інструктаж є обов'язковою процедурою, яка проводиться перед кожним виїздом водія на маршрут і триває в середньому 10–15 хвилин, що становить близько 3–5 % загального часу підготовки до рейсу. Його зміст визначається вимогами чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про охорону праці», Правил дорожнього руху та галузевих нормативних актів. Аналіз практики автотранспортних підприємств показує, що на підприємствах із чисельністю понад 100 водіїв щоденно проводиться від 80 до 120 інструктажів, що вимагає чіткої організації процесу та застосування стандартизованих підходів.

Основною метою передрейсового інструктажу є доведення до водіїв актуальної інформації щодо умов руху, стану доріг, метеорологічної ситуації, а також нагадування вимог безпеки праці та правил експлуатації транспортних засобів. Згідно з дослідженнями, врахування погодних умов під час інструктажу дозволяє знизити ризик ДТП на 12–18 %, а своєчасне інформування про зміни маршрутів — на 8–10 %. Важливим елементом є контроль фізіологічного стану водія: за статистикою, до 20 % водіїв мають ознаки перевтоми або стресу, що може впливати на швидкість реакції та прийняття рішень.

Особливістю проведення інструктажів є необхідність їх адаптації до специфіки пасажирських перевезень, де важливу роль відіграють фактори соціальної відповідальності та психологічного навантаження. У порівнянні з вантажними перевезеннями, водії автобусів працюють у середньому на 15–20 % довше у напружених умовах міського руху, що обумовлює потребу в акцентуванні уваги на питаннях психофізіологічної безпеки. Встановлено, що включення до інструктажу коротких психологічних рекомендацій дозволяє знизити рівень конфліктних ситуацій із пасажирями на 10–12 %.

Значну роль відіграє технічна складова інструктажу, яка включає нагадування про порядок перевірки транспортного засобу перед виїздом. Дослідження показують, що близько 25 % несправностей, які можуть призвести до аварій, можуть бути виявлені саме на етапі передрейсового огляду. Тому ефективний інструктаж повинен містити конкретні алгоритми дій водія при виявленні несправностей, а також інформацію про відповідальність за порушення вимог безпеки.

Важливим напрямом удосконалення передрейсових інструктажів є впровадження цифрових технологій. Використання електронних журналів та мобільних додатків дозволяє автоматизувати процес фіксації проведення інструктажів, скоротити час на їх оформлення на 20–30 % та підвищити контроль за дотриманням процедур. Крім того, інтерактивні системи навчання

забезпечують підвищення рівня засвоєння інформації водіями до 85–90 % порівняно з традиційними методами.

Аналіз ефективності передрейсових інструктажів свідчить, що на підприємствах, де вони проводяться систематично та з урахуванням сучасних вимог, рівень аварійності знижується на 15–25 %, а кількість порушень правил дорожнього руху — на 10–18 %. Це підтверджує доцільність їх подальшого вдосконалення, зокрема шляхом стандартизації змісту, підвищення кваліфікації осіб, відповідальних за їх проведення, та інтеграції з системами управління безпекою дорожнього руху.

Таким чином, передрейсові інструктажі є важливим інструментом забезпечення безпеки праці водіїв пасажирських перевезень в Україні, ефективність якого залежить від системності, актуальності інформації та використання сучасних організаційно-технічних рішень. Їх удосконалення сприятиме зниженню рівня виробничого травматизму, підвищенню безпеки дорожнього руху та якості транспортних послуг.

#### **Література**

1. НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

2. Войналович О.В., Марчишина Є.І. Білько Т.О. Охорона праці у галузі: підручник. К. Центр учбової літератури. 2017. 691 с.

УДК 625.7

### **СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ТРАНСПОРТУ І ПІШОХОДІВ У ШВЕЦІЇ**

**Нагорний Тимофій Володимирович, PhD, ст. викладач**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: t.nahorny@nubip.edu.ua

***Анотація.** Розкрито наявний стан політики і регулювання в сфері організації та безпеки дорожнього руху в Королівстві Швеція. Наведені результати обстеження вулично-дорожньої мережі в містах Лунд, Мальме та Гельсінгборг у рамках виїзного модуля програми підвищення кваліфікації «Developing a sustainable transport system from a rights-based perspective» на базі Лундського університету.*

Швеція визнана світовим лідером у сфері інноваційної організації дорожнього руху. Після 1998 року парадигма управління транспортною системою базується на підході Vision Zero («Візія нульової смертності»), який проголошує нульову толерантність до виправдання смертності або серйозного травматизму внаслідок дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Ця стратегія ініціювала перехід від визначення провини окремого водія до моделі Safe System Approach («Безпечна система»), що передбачає солідарну відповідальність осіб, що ухвалюють стратегічні рішення, проектувальників інфраструктури та користувачів. Організація руху в Швеції є багаторівневою та охоплює

макроскопічне стратегічне управління, інноваційні методи збору даних, фізичну адаптацію інфраструктури та мікроскопічний поведінковий аналіз.

Ефективна національна політика безпеки руху вимагає системного підходу, який, за Андрашем Вархеї [3], складається з дванадцяти ключових елементів (табл. 1).

Таблиця 1. Елементи системного підходу до безпеки руху

1. Визначення важкості та характеру наслідків ДТП	2. Забезпечення підтримки з боку осіб, що ухвалюють рішення	3. Розробка політики безпеки дорожнього руху
4. Визначення функцій та обов'язків інституційних структур	5. Виявлення проблем безпеки дорожнього руху	6. Встановлення цілей у сфері безпеки дорожнього руху
7. Розробка стратегії та плану дій	8. Розподіл відповідальності за реалізацію заходів	9. Забезпечення фінансування
10. Застосування заходів з доведеною ефективністю	11. Здійснення моніторингу результатів	12. Стимулювання наукових досліджень і підвищення кваліфікації

Основою об'єктивного управління системою організації руху транспорту і пішоходів є дані. Початковий етап впровадження політики Vision Zero стикнувся з серйозними перешкодами саме через відсутність кількісних метрик оцінки результативності. Наслідком цього стало запровадження індикаторів ефективності безпеки (Safety Performance Indicators, SPIs), які докорінно змінили підхід до планування. Проводячи постійний моніторинг транспортно-експлуатаційних показників, інтенсивності та складу транспортних потоків, а також навантаження на довкілля, балансоутримувачі вулиць і доріг створюють основу для ефективного аналізу, планування і проектування високоякісної інфраструктури, здатної на основі розрахунків забезпечити підвищення безпеки і комфорту руху для користувачів. При цьому, відбувся перехід від реактивного підходу досліджень – аналізу даних ДТП, що сталися – до проактивного – спостереження, вивчення і прогнозування поведінки учасників дорожнього руху в конкретних умовах [4].

Наявний чіткий розподіл відповідальності за транспортну інфраструктуру між Транспортною адміністрацією Швеції Trafikverket (дороги і залізниці загального користування) та окремими муніципалітетами (вулиці населених пунктів). Регіони (лени) при цьому відповідають виключно за організацію послуг громадського транспорту через транспортні управління, наприклад Skånetrafiken у лені Сконе на півдні країни. Таким чином, комплексне планування і проектування вулиць і доріг досягається завдяки співпраці всіх транспортних відомств. Вони ж виступають замовниками досліджень і розробок у цій сфері, виконавцями яких є, як правило, університети або консалтингові компанії. Обов'язок погодження проектів організації дорожнього руху був поетапно (у 1965-1979 роках) переданий від Шведської поліції до муніципалітетів і Транспортної адміністрації Швеції, таким чином поліція залучена у процес проектування на дорадчих засадах з правом внесення рекомендацій до проектів. На сьогодні відповідальність за якість проектної документації покладена на

муниципалітети і Trafikverket (щодо замовлення і затвердження) та інженерів з організації дорожнього руху як безпосередніх виконавців.

Безпека дорожнього руху ставить за мету передусім збереження людського життя і здоров'я. Тому вважається, що впровадження відповідних політик і проектів відповідає щонайменше чотирьом цілям збалансованого розвитку.

Варто відзначити, що за статистикою ДТП у Швеції серед причин класично переважає перевищення дозволеної швидкості. Для нівеляції таких порушень адміністративний контроль з боку поліції доповнюється фізичним дизайном (у плані проектування) вулиць і доріг, за якого перевищення безпечної для конкретних умов швидкості стає психологічно незручним. Це особливо важливо для міських вулиць, де діє чітка градація дозволеної швидкості (табл. 2):

Таблиця 2. Дозволена швидкість руху на окремих категоріях вулиць

Категорія	Дозволена швидкість, км/год
Міська дорога (без суміжної забудови)	60
Магістральна вулиця	50
Районна вулиця	40
Житлова вулиця	30
Пішохідна / житлова зона	20

Геометрія вулиць чітко впорядкована в конструктивних елементах, що включають бордюри, острівці (центральні, притротуарні, напрямні щодо) та використання різних елементів мостіння. При цьому дорожня розмітка використовується для позначення острівців виключно площею до 5 м<sup>2</sup>. Частим є використання кам'яної бруківки для покриття зон підвищеної уваги, зокрема, «фартухів» острівців та пандусів дорожніх пагорбів.

Описані підходи дозволяють ефективно впроваджувати безпечну інфраструктуру для вразливих учасників дорожнього руху. Якісна велосипедна мережа включає, окрім велосипедних доріжок поза проїзною частиною та виділених велосипедних смуг на проїзній частині, також вулиці заспокоєного руху, де дотримане обмеження швидкості 20-30 км/год дозволяє впорядкувати рух всіх користувачів спільною проїзною частиною. Пішохідні переходи можуть як обладнуватися технічними засобами – знаками, розміткою, світлофорами (на магістральних і районних вулицях), так і бути забезпеченими лише пониженнями бордюрів і тактильною навігацією для пішоходів (на житлових вулицях та вулицях з низькою інтенсивністю руху транспорту). Такий комплекс заходів, заснованих на емпірично доведеній ефективності [2], з часом сприяє звиканню людей до безпечного використання інфраструктури та формуванню суспільного запиту на подальшу дисемінацію інфраструктурних змін.

Навіть на прогресивному етапі підвищення безпеки руху залишаються проблеми з основною категорією порушень – перевищеннями швидкості. За повідомленнями муниципалітету Мальме, наявні запити на обладнання додаткових засобів заспокоєння руху. Гостро постало це питання у контексті впровадження швидкісного автобусного сполучення (BRT / Malmöexpressen). Так, класичні дорожні пагорби (speed bump) були трансформовані у новітні форми: Malmö bump (з різким пандусом на в'їзді та пологим ухилом на виїзді), H-bump (пологий пандус на в'їзді для транспорту з широкою колісною базою та

різкий пандус посередині смуги руху) та Actibump (пониження рівня проїзної частини, яке активується за фіксації перевищеної швидкості) [1].

Еволюція організації руху транспорту і пішоходів у Швеції доводить, що безпека всіх користувачів досягається протягом років наукової, стратегічної та проектної роботи. Це вимірюваний результат, якого досягають через інтеграцію даних, дотримання індикаторів SPI, комплексного застосування заходів заспокоєння руху та глибокого мікроскопічного прогнозування людської поведінки в міському середовищі.

### **Література**

1. Einarsson K., Brorson T. Utvärdering av olika farthinder på Malmö's huvudgator. LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg, Lunds universitet. Lund, 2020, 73 s.;
2. Laureshyn A., Agerholm N., Šucha M. Traffic Safety Data: Sources, analysis and applications. Lund, 2024, 324 p.;
3. Várhelyi A. Road safety management – the need for a systematic approach. The Open Transportation Journal, 2016, Vol. 10, 137–155;
4. Yastremska-Kravchenko O. Microscopic behaviour analysis using video recordings: A perspective on vulnerable road users. Doctoral dissertation. Lund University, 2025, 130 p.

УДК 656.13.05

## **ТЕНДЕНЦІЇ ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ АВАРІЙНОСТІ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ**

**Рябушенко Олександр Васильович**, к.т.н, доцент.,

**Корнієнко Марина Ігорівна**, студентка

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

e-mail: riabushenko79@ukr.net

Умови воєнного стану та супутня соціально-економічна нестабільності в Україні суттєво вплинули на функціонування транспортної системи. Традиційні закономірності формування аварійності в таких умовах втрачають актуальність, що ускладнює оцінювання ризиків ДТП і прийняття ефективних управлінських рішень у сфері безпеки дорожнього руху. Таким чином, виникає науково-практична проблема ідентифікації нових тенденцій зміни показників аварійності та встановлення факторів, що визначають їх динаміку в умовах воєнного стану. Це є необхідним для адаптації підходів до управління безпекою дорожнього руху та розроблення адекватних моделей прогнозування ДТП.

Сучасні дослідження підтверджують істотний вплив воєнного стану на показники аварійності, однак мають фрагментарний характер і переважно зосереджені на окремих аспектах проблеми [1,2]. Окремі роботи вказують на зміну структури ДТП та факторів ризику, особливо в регіонах, що зазнали бойових дій [3].

Актуальним об'єктом дослідження проблеми є Харківська область через близькість до зони активних бойових дій, та зміну просторової організації

транспортних потоків. Метою дослідження було виявлення закономірностей зміни показників аварійності на вулично-дорожній мережі в період воєнного стану. Особливу увагу приділено оцінці тяжкості ДТП, що характеризується співвідношеннями між кількістю загиблих і травмованих осіб та загальною кількістю ДТП.

Аналіз статистичних даних ДТП у Харківській області дозволяє встановити суттєві зміни як у кількісних, так і у якісних характеристиках аварійності, обумовлені впливом воєнного стану. У довоєнний період (2019 – 2021 рр.) спостерігалася відносна стабільність кількості ДТП на рівні 11,9 – 12,5 тис. випадків на рік із тенденцією до незначного зниження кількості ДТП з потерпілими та травмованих осіб. Рівень загиблих характеризувався помірними коливаннями, а показники тяжкості залишалися відносно низькими. Це свідчить про домінування у структурі аварійності значної кількості пригод із незначними наслідками.

Початок війни спричинив значне зниження абсолютних показників аварійності у 2022 році. Загальна кількість ДТП зменшилась на 63%, кількість ДТП з потерпілими зменшилась на 45%. Водночас показники тяжкості зазнали різкого зростання. Таким чином, сформувався парадоксальний ефект: суттєве зниження кількості ДТП супроводжувалося різким зростанням тяжкості їх наслідків, що свідчить про структурну трансформацію аварійності з початком бойових дій. У наступний період (2023 – 2025 рр.) спостерігається поступове відновлення транспортної активності та відповідне зростання кількості ДТП, що характеризується середньорічним темпом приросту 1,10. Кількість ДТП з потерпілими у 2025 році (1589) практично досягла рівня 2021 року (1597), що свідчить про відновлення ризиків дорожнього руху. Водночас показники тяжкості залишаються суттєво вищими за довоєнні значення. Так, у 2025 році кількість загиблих на 100 ДТП становить 2,52, що перевищує рівень 2021 року у 1,47 рази. Показник потерпілих на 100 ДТП також залишається підвищеним (28,10 проти 16,27 у 2021 році), тобто зростання становить близько 73%.

Порівняльний аналіз структури аварійності в Харківській області до та після введення воєнного стану дозволяє виділити такі ключові тенденції:

1. Відбулося порушення прямого зв'язку між кількістю ДТП та тяжкістю їх наслідків: якщо у довоєнний період ці показники змінювалися узгоджено, то після 2022 року їх динаміка набула протилежного характеру.

2. Спостерігається зменшення частки ДТП із незначними наслідками та відповідне зростання частки тяжких пригод, що проявляється у зростанні питомих показників тяжкості.

3. Формується нове співвідношення показників аварійності, яке характеризується нижчим рівнем загальної кількості ДТП, але значно вищою їх небезпечністю.

Узагальнюючи отримані результати, можна зазначити, що воєнний стан призвів не лише до тимчасового зниження інтенсивності дорожнього руху та відповідного скорочення кількості ДТП, але й до глибокої трансформації структури аварійності. Сформована у післявоєнний період модель характеризується підвищеною нестабільністю ДТП та тяжкістю наслідків, що

вимагає перегляду традиційних підходів до оцінювання ризиків і моделювання безпеки дорожнього руху.

### **Література**

1. Калініна А. В. Запобігання дорожньо-транспортним пригодам в умовах воєнного стану // *Питання боротьби зі злочинністю*. – 2022, – віп. 44. – С. 107-114. –10.31359/2079-6242-2022-44-107.

2. Шрамко С. С. Оцінка сучасного стану безпеки дорожнього руху в Україні // *Вісник асоціації кримінального права України*. – 2024. – Т. 2, № 22. – DOI: 10.21564/2311-9640.2024.22.315949.

3. Batorygareieva V., Kolodyazhny M., Netesa N. War as a Challenge to Road Safety: Damage to Society and the Economy of Ukraine // *Baltic Journal of Economic Studies*. – Riga: Baltija Publishing, 2023. – Vol. 9, № 5. – P. 48–56. – DOI: 10.30525/2256-0742/2023-9-5-48-56.

УДК 625.7:338.47

## **АВТОМОБІЛЬНА ІНФРАСТРУКТУРА УКРАЇНИ ПІД ЧАС ЗБРОЙНОГО КОНФЛІКТУ: СТРУКТУРА ВТРАТ І ЛОГІКА ВІДНОВЛЕННЯ**

**Савченко Лілія Анатоліївна**, к.т.н., доцент

**Клешня Даніл**, учень 157 ліцею Оболонського району, м. Києва

*Національний університет біоресурсів та природокористування України*

email: lilya\_savchenko@nubip.edu.ua

Масштаби руйнувань дорожньої інфраструктури України внаслідок збройного конфлікту виходять далеко за межі звичного розуміння «воєнних збитків». Аналіз матеріалів RDNA3 [1] дозволяє сформулювати ключовий парадокс: держава, яка у 2020–2021 роках вкладала рекордні 4,5-5,0 млрд дол. щороку у реабілітацію доріг і так і не довела ключову мережу до задовільного стану (у 2016 р. 17 % із 20 760 км перебувало у незадовільному стані), зіткнулася з принципово новим типом виклику - необхідністю одночасно ліквідувати системну довоєнну деградацію і відновити гострі бойові пошкодження. Ці два завдання конкурують за обмежені ресурси та вимагають різних інституційних підходів.

Структура збитків (табл. 1) промовисто відображає логіку ударів по критичній інфраструктурі. Майже чверть усіх втрат транспортного сектору (23 %) зосереджена саме на автомагістралях та національних дорогах-осьовому каркасі вантажних перевезень. Показово, що збитки мостовій мережі (національні + місцеві) у сумі перевищують 8,1 млрд дол., тоді як відновлення кожного мосту тимчасовими конструкціями коштує в рази менше, ніж капітальна реконструкція. Саме цим пояснюється те, що з 115 відновлених мостових переходів 29 – це модульні конструкції, передані партнерами: швидко, але без урахування перспективного навантаження та євроінтеграційних стандартів.

Таблиця 1. Фінансовий вимір втрат дорожнього господарства України (лютий 2022 - грудень 2023 р.)

Складова дорожнього господарства	Збитки, млрд \$	Втрати, млрд \$	Потреби 2024–2033, млрд \$	Питома вага потреб, %
Автомагістралі та національні дороги	7,72	2,85	21,53	29,2
Дороги обласного та сільського рівня	3,42	—	5,09	6,9
Комунальні дороги	2,14	—	7,07	9,6
Мости на нац. дорогах	7,27	—	7,27	9,9
Мости на місцевих дорогах	0,90	—	0,90	1,2
Приватні транспортні засоби	4,21	2,85	4,21	5,7
Разом по дорожній складовій	25,66	5,70	46,07	62,5

Розраховано авторами за даними RDNA3 [1].

Географічна концентрація збитків є принципово важливою для розуміння меж майбутнього відновлення. П'ять найбільш уражених областей – Донецька (8,76 млрд дол. збитків), Херсонська (5,16 млрд), Запорізька (5,12 млрд), Луганська (4,24 млрд) та Харківська (3,60 млрд) – формують понад 80 % усіх пошкоджень транспортного сектору [1]. Водночас відновлювальні потреби тих самих регіонів становлять 73 % від загальнонаціонального показника в 73,7 млрд дол. Ця асиметрія означає, що технічна реконструкція об'єктів в активній зоні конфлікту залишається практично неможливою: навіть детальна інженерна оцінка не може бути проведена через обмеження доступу до пошкоджених об'єктів. Фактично значна частина "потреб" у збитковому переліку є розрахунковою величиною, а не верифікованим обсягом робіт.

Ще одним системним викликом є так звана пастка «швидких ремонтів» (quick fixes). За 2023 рік фактичні видатки на відновлення транспортної інфраструктури склали близько 2,1 млрд дол. проти запланованих 3,4 млрд дол. [1]. Ці кошти спрямовувалися переважно на аварійне відновлення мінімальної транспортної зв'язності, а не на повноцінну реконструкцію. Більшість лінійних об'єктів – ділянок доріг і залізниць – ушкоджуються точково і відновлюються «закладенням ям», що не підвищує несучої спроможності покриття. Відтак фактичний відремонтований кілометраж хронічно не зараховується як «відновлена потреба»: по відновленій ділянці потрібна повторна реконструкція після завершення воєнних дій. Цей методологічний нюанс суттєво занижує реальний прогрес і водночас штучно утримує завищеними розрахункові потреби.

Структура пріоритетів відновлення на 2024 рік (загалом 2,24 млрд дол. по транспортному сектору) дозволяє оцінити реальну ієрархію завдань. Основний акцент зроблено на відновленні автодорожньої мережі: ремонт національних доріг і мостів (624 млн дол.) та місцевих доріг і мостів (414 млн дол.) разом поглинають майже 47 % пріоритетних ресурсів. Натомість розбудова прикордонних переходів (255 млн дол.) – вузького місця, яке у листопаді 2023 – січні 2024 рр. паралізувало понад 3 000 вантажівок і завдало збитків на понад 1 млрд дол. [1] – фінансується втричі скромніше. Ця невідповідність свідчить: логістичні вузли, де відбуваються найбільші операційні втрати перевізників, не

отримують пріоритетного фінансування пропорційно до свого економічного значення.

Таким чином, дорожня інфраструктура України опинилася у ситуації триярусного тиску: незавершена довоєнна модернізація, руйнівні бойові пошкодження в зоні активних операцій та хронічне недофінансування відновлення відносно задекларованих потреб. Відповіддю на цей виклик має бути не лише нарощування обсягів фінансування, а й зміна підходу: перехід від реактивного "закладення ям" до проактивного планування реконструкції з диференціацією стандартів для ключових міжнародних коридорів (категорія М, стандарти TEN-T) і мережі другорядних доріг, для яких доцільне застосування спрощених норм відновлення з елементами кліматичної адаптивності та дорожньої безпеки.

### **Література**

1. World Bank, European Commission, United Nations. Ukraine — Third Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA3): February 2022 — December 2023. Washington, D.C. : World Bank Group, 2024. 182 p. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/41372>.
2. Grigorenko Y. The Blockade of Road Crossings Will Cost the Ukrainian Economy at Least \$1 Billion. GMK Center. 6 грудня 2023. URL: <https://gmk.center/en/posts/the-blockade-of-road-crossings>.
3. Міністерство розвитку громад та територій України. Звіт про стан та відновлення транспортної інфраструктури. Київ : МРОТ, 2024. 71 с.

UDC 658.1.004

### **TRAFFIC SAFETY: HOW DO WE MEASURE IT?**

**Yastremska-Kravchenko Oksana**, Ph.D. in Traffic studies

*City of Malmö, Sweden*

e-mail: [oksana.yastremska-kravchenko@malmo.se](mailto:oksana.yastremska-kravchenko@malmo.se)

Approaches to traffic safety management differ in scope, objectives and methodology. Traditionally, traffic safety work has been largely reactive, relying on historical crash data to identify and mitigate risks. This approach focuses on problems that have already resulted in accidents rather than proactively identifying unsafe conditions before crashes occur [1].

However, the limitations of relying solely on crash data are well documented. A major issue is under-reporting, as many non-fatal crashes and near-miss events, especially those involving vulnerable road users (VRUs), are not captured in official statistics. This leads to an underestimation of risk levels and a distorted understanding of accident causation [2-4]. In addition, at smaller spatial scales such as individual intersections or short road segments, crashes are too infrequent to support robust statistical analysis. This challenge is even greater for severe crashes, which are rare by nature, making predictive modelling difficult [5-7]. Furthermore, accident reports, for example police reports, often lack sufficient detail on key variables such as vehicle

manoeuvres, pre-crash behaviour, and road conditions, which limits deeper safety analysis [8;9].

As traffic systems become more complex, there is a growing need for more comprehensive and proactive safety assessment methods. Advances in technology and data analytics have enabled a shift toward data-driven approaches. In this context, video-based analysis has emerged as a valuable tool. Video recordings allow for detailed observation of real-time interactions between road users and infrastructure, providing deeper insights into traffic behaviour and potential safety risks.

A key conceptual framework in this field is the Surrogate Measures of Safety (SMoS), which is based on the idea that traffic events can be organised into a hierarchy according to their severity. This concept originates from Hydén's (1987) "safety pyramid" [10], which illustrates: as the severity of events increases, their frequency decreases. At the base of the pyramid are normal interactions, which occur frequently, while severe, injury-related, and fatal crashes are located at the top, reflecting their relative rarity. Together, these events form a continuum describing the relationship between frequency and severity.

Despite this conceptual clarity, the ranking of traffic events depends strongly on how severity is defined and measured. Traditionally, severity has been assessed based on "proximity to an accident" and referring only to how close an interaction comes to resulting in a collision, typically measured in time or space. However, the introduction of the Vision Zero (Safe System) approach has led to a paradigm shift in traffic safety. This strategy prioritises the prevention of crashes that result in serious injuries or fatalities, rather than aiming to eliminate all crashes [11]. As a result, a trade-off is accepted: minor crashes causing only property damage may occur, while severe outcomes must be prevented.

This shift requires a redefinition of severity. Instead of focusing solely on proximity to a crash, severity should also consider the potential consequences of a collision. In this perspective, severity is better understood as "proximity to a serious injury" [12]. Potential consequences can be represented by speed (absolute or relative), kinetic energy, impulse, deceleration rates, among others.

Only a limited number of studies have attempted to combine both proximity and consequence dimensions into a unified severity measure. Another important and still unresolved question concerns the timing of severity measurement within an interaction. Many existing indicators are continuous, producing values throughout the interaction. Therefore, identifying the most relevant moment (or moments) for assessing severity remains a topic of ongoing discussion [13]. Since the level of risk can change during different phases of an interaction, selecting the appropriate moment is critical.

Given that the primary aim of SMoS is to rank events according to their severity, it is essential that the results are intuitive and consistent. Interestingly, previous research suggests that human subjective perception may better reflect theoretical severity than many objective indicators. Although subjective judgement cannot be considered a definitive ground truth, it incorporates multiple dimensions such as proximity, potential consequences, and perceived control [14], making it a valuable reference for severity assessment.

To explore this further, a study was conducted using human judgements of severity in cyclist–motor vehicle interactions. The analysed scenarios involved a cyclist crossing a signalised intersection on green while a turning motor vehicle crossed their path. To ensure a balanced representation of severity levels, the dataset was manually constructed and included three categories:

- Normal interactions: controllable situations requiring little or no adjustment,
- Slight conflicts: early and smooth interactions without emergency actions,
- Severe conflicts: near-accident situations.

The dataset consisted of 107 traffic encounters derived from video recordings collected within the Horizon 2020 InDeV project [15] at urban intersections in Sweden, Denmark, Norway, the Netherlands and Spain.

Trajectory data were extracted using the semi-automated T-Analyst tool [16]. Each interaction was characterised using objective indicators derived from trajectories and supplemented with parameters such as vehicle dimensions and weight. Additionally, these indicators were grouped according to the phase of interaction they represented. A binary logistic regression analysis (BLRA) with forward selection was then applied to identify which variables best explain severity as perceived by human observers.

Further details on the methodology, study design, model development and validation, as well as the full results, are provided in the full paper [17].

#### *Main Results and Conclusions*

The findings highlight the importance of evasive action as a key determinant of perceived severity. Indicators associated with the initial phase of an event, particularly those marking the onset of evasive manoeuvres, were found to be most significant.

Interestingly, speed was not identified as a statistically significant factor in this study. This result can be explained by the nature of the dataset: most interactions involved turning vehicles, where speed reduction was primarily driven by road geometry rather than interaction dynamics. It is important to emphasise that safe speeds remain a fundamental aspect of traffic safety, even though they were not significant in this specific context.

Overall, the study confirms that both proximity-based indicators and variables representing potential consequences if a crash occurs are necessary for a comprehensive assessment of traffic safety.

#### **Literature**

1. Hauer, E. (1997) 'Observational before/after studies in road safety. Estimating the effect of highway and traffic engineering measures on road safety'. Bingley, UK: Emerald Group Publishing Limited
2. Kamaluddin, N. A., M. F. Abd Rahman, A. Várhelyi (2019) 'Matching of police and hospital road crash casualty records—A data-linkage study in Malaysia'. *International journal of injury control and safety promotion*, 26 (1), 52–59: <https://doi.org/10.1080/17457300.2018.1476385>
3. Watson, A., B. Watson, K. Vallmuur (2015) 'Estimating under-reporting of road crash injuries to police using multiple linked data collections'. *Accident Analysis & Prevention*, 83, 18–25: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.06.011>

4. Aarts, L., I. van Schagen (2006) 'Driving speed and the risk of road crashes: A review'. *Accident Analysis & Prevention*, 38 (2), 215–224: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.07.004>
5. Saunier, N., A. Lareshyn (2021) 'Surrogate Measures of Safety'. in Vickerman, R. (Ed.) *International Encyclopedia of Transportation*, Oxford, UK: Elsevier
6. Lareshyn, A., Å. Svensson, C. Hydén (2010) 'Evaluation of traffic safety, based on microlevel behavioural data: Theoretical framework and first implementation'. *Accident Analysis & Prevention*, 42 (6), 1637–1646: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.03.021>
7. Lord, D., F. Mannering (2010) 'The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives'. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44 (5), 291–305: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.02.001>
8. Elvik, R. (2010) 'Why some road safety problems are more difficult to solve than others'. *Accident Analysis & Prevention*, 42 (4), 1089–1096: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.12.020>
9. Elvik, R., A. Høyе, T. Vaa, M. Sørensen (2009) 'The Handbook of Road Safety Measures'. Bingley, UK: Emerald Group Publishing Limited
10. Hydén, C. (1987) 'The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique'. *Bulletin Lund Institute of Technology* (70): <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2384888>
11. Johansson, R. (2009) 'Vision Zero—Implementing a policy for traffic safety'. *Safety Science*, 47 (6), 826–831: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.10.023>
12. Lareshyn, A., T. De Ceunynck, C. Karlsson, Å. Svensson, S. Daniels (2017) 'In search of the severity dimension of traffic events: Extended Delta-V as a traffic conflict indicator'. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 46–56: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.09.026>
13. Yastremska-Kravchenko, O. (2025) 'Microscopic behaviour analysis using video recordings: A perspective on vulnerable road users'. [Doctoral Thesis (compilation), Department of Technology and Society, Transport and Roads]. Lund University: [https://lup.lub.lu.se/search/files/212274309/Oksana\\_Yastremska-Kravchenko\\_thesis\\_summary.pdf](https://lup.lub.lu.se/search/files/212274309/Oksana_Yastremska-Kravchenko_thesis_summary.pdf)
14. Johansson, C., A. Lareshyn, C. D'agostino (2021) 'Validation of surrogate measures of safety with a focus on bicyclist–motor vehicle interactions'. *Accident Analysis & Prevention*, 153, 106037: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106037>
15. EU Commission (2020) 'InDeV: In-Depth understanding of accident causation for Vulnerable road users': <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-transport/safety/indev> (Acc. 2024-12-20)
16. T-Analyst (2019) 'Software for semi-automated video processing ': <https://bitbucket.org/TrafficAndRoads/tanalyst/wiki/Home>
17. Yastremska-Kravchenko, O., A. Lareshyn, J. C. D'Agostino, A. Varhelyi (2022) 'What constitutes traffic event severity in terms of human danger perception?' *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 90, 22-34: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.08.001>

УДК 656.13

## **РОЗВИТОК СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ**

**Волошко Тарас Павлович**, ст. викладач,  
*Сумський національний аграрний університет*  
e-mail: taravol79@gmail.com

Затори на дорогах стають дедалі серйознішою проблемою в багатьох великих містах світу. Проблема виникає з багатьох причин, серед яких: швидке зростання населення, високі темпи урбанізації, високі щорічні темпи зростання кількості транспортних засобів, неточність оцінки планування на ранніх стадіях розвитку міста, обмежена площа землі та зменшення фінансування дорожньої інфраструктури. Проблема є складнішою в країнах, що розвиваються, де міста ростуть набагато швидше, ніж у розвинених країнах.

Затримки, що спричиняють низьку ефективність дорожнього руху, негативно впливають на економічну продуктивність, якість навколишнього середовища та безпеку. Дорожні органи вже визнали, що саме по собі будівництво додаткової пропускної здатності доріг не допомагає вирішити проблему заторів.

Останнім часом більше уваги приділяється методам управління транспортними потоками та застосуванню передових технологій, таких як інтелектуальні транспортні системи (ІТС), для покращення дорожніх операцій. ІТС передбачає застосування передових технологій, включаючи комп'ютери, системи обробки інформації, зв'язку й управління, для підвищення ефективності та пропускної здатності існуючої дорожньої інфраструктури, зменшення заторів, підвищення безпеки дорожнього руху та сприяння легкості й зручності подорожей.

Передові системи управління дорожнім рухом (СУДР) – одна з технологій ІТС, яка використовується для вирішення транспортних проблем у багатьох великих містах країн, що розвиваються. СУДР інтегрує управління різними функціями доріг, прогножуючи затори, оптимізуючи транспортний потік та надаючи транспортним засобам альтернативні маршрути в регіональних зонах, щоб покращити безпеку та комфорт дорожнього руху, а також покращити навколишнє середовище. Одним із варіантів застосування систем управління є адаптивні системи управління дорожнім рухом (АСУДР).

Існує низка адаптивних систем управління дорожнім рухом, наприклад: SCATS (Сіднейська координована адаптивна система руху), SCOOT (Техніка оптимізації зміщення з розділеним циклом), BLISS (Система сигналізації перехрестя в Брісбені) та STREAMS (Синергізовані транспортні ресурси, що забезпечують вдосконалену систему управління). SCATS набула популярності в Австралії, Азії та в Північній Америці. SCOOT застосовується в Англії, а BLISS та STREAM – в Австралії.

Передові системи управління дорожнім рухом визнані одним із найефективніших методів зменшення заторів у містах. Вони є ефективними інструментами координації світлофорів для зменшення затримок, зупинок та

споживання палива, для максимізації пропускнув здатності та для підвищення безпеки. Система управління працює шляхом вибору та впровадження трьох елементів керування, а саме: часу циклу, фазового поділу та зміщення, для кожного перехрестя з сигналом у мережі. Зміщення – це різниця в часі початку зелених фаз сусідніх перехресть.

У системі SCATS, усі сигналізовані перехрестя згруповані в кілька регіонів, кожен з яких складається з понад 120 локальних контролерів, які керуються одним регіональним комп'ютером і підключені до центральної системи моніторингу. Кожен регіон поділено на менші підзони, кожна з яких містить від одного до десяти сигналізованих перехресть, що мають спільний час циклу. Загальний час циклу оновлюється кожного циклу відповідно до ступеня насичення підзони.

Вдосконалення системи управління SCATS відбувається шляхом розробки нових програмних продуктів, що значно підвищує ефективність управління дорожнім рухом.

Програмне забезпечення «SCATS Cornerstone» базується на стандартах ISO для забезпечення сумісності між системами управління дорожнім рухом у всьому світі. Цінність полягає в тому, щоб допомогти системі управління дорожнім рухом краще зрозуміти топологію перехрестя (схему розташування), що має вирішальне значення для ефективної роботи системи управління дорожнім рухом, програм моделювання, а також мережевої взаємодії та автономних транспортних засобів.

Програмне забезпечення «SCATS Data Insights», має на меті спростити вилучення даних із систем SCATS та надати користувачам більш повне розуміння даних. Це дозволить іншим краще переглядати, розуміти та використовувати ці дані, тим самим надаючи більше інформації для покращення управління дорожнім рухом.

«Хмарна обчислювальна система SCATS» має надавати користувачам більш зручні професійні послуг для обробки складної системи. Це означає, що постачальники послуг можуть надавати клієнтам такі послуги, як віддалена оптимізація сигналів, тим самим знижуючи поріг професійних навичок та дозволяючи більшій кількості місць скористатися перевагами передових технологій управління дорожнім рухом.

УДК 656.072:656.08"2025"

## **СТАН АВАРІЙНОСТІ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ У 2025 РОЦІ**

**Кошара М.І.**, студент,

**Колосок І.О.**, к.пед.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*

*E-mail: kolosok@nubip.edu.ua*

Згідно статистичних даних протягом 2025 року на автошляхах України сталося 4600 дорожньо-транспортних пригод (ДТП) за участю ліцензованого

автомобільного транспорту, який надає послуги з перевезення пасажирів, небезпечних вантажів та небезпечних відходів, міжнародних перевезень пасажирів та вантажів, в яких 233 особи загинули та 1471 особа отримала травми (рис. 1) [1].

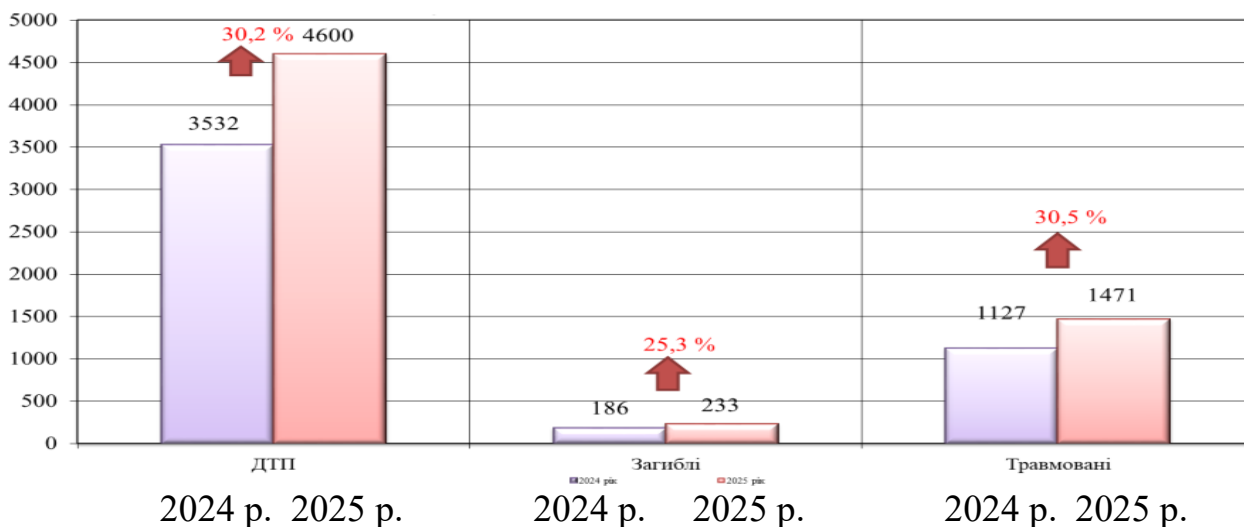


Рис. 1. Порівняння загальної кількості ДТП за участю водіїв ліцензованого автомобільного транспорту

Порівнюючи абсолютні показники аварійності на ліцензованому автомобільному транспорті видно, що за 2025 рік кількість ДТП за участю транспортних засобів ліцензованих автомобільних автоперевізників збільшилась, у порівнянні з 2024 роком, на 30,2 % (з 3532 до 4600 ДТП). Спостерігається збільшення тяжкості наслідків від ДТП, кількість загиблих осіб за участю водіїв ліцензованого транспорту збільшилась на 25,3 % (з 186 до 233 осіб). Так, з 233 осіб, які загинули в результаті настання ДТП, 94 особи загинули в результаті настання ДТП з вини водіїв ліцензованого транспорту. Кількість травмованих осіб за участю водіїв ліцензованого транспорту збільшилась на 30,5 % (з 1127 до 1471 особу).

Із зазначеної кількості ДТП з вини водіїв ліцензованого автомобільного транспорту за вказаний період сталося 2934 дорожньо-транспортні пригоди, в яких 94 особи загинули, а 842 особи отримали травми різного ступеня тяжкості. За 2024 рік на автодорогах України з вини водіїв ліцензованого автомобільного транспорту допущено 2175 дорожньо-транспортних пригод, в яких 65 осіб загинули та 584 особи отримали травми.

Таким чином рівень аварійності з вини водіїв ліцензованого автомобільного транспорту збільшився на 34,9 %, кількість загиблих у ДТП осіб збільшилась на 44,6 %, кількість травмованих збільшилась на 44,2 %. З вини водіїв автобусів за 2025 рік сталося 897 дорожньо-транспортних пригод, в яких 30 осіб загинули та 603 особи отримали травми. За 2024 рік сталося 925 дорожньо-транспортних пригод, у яких 21 особа загинула та 414 осіб отримали травми. З вини водіїв вантажних автомобілів за 2025 рік сталося 1971 дорожньо-транспортна пригода, в яких 54 особи загинули та 186 осіб отримали травми. За 2024 рік сталося 1228 дорожньо-транспортних пригод, в яких 42 особи загинули

та 142 особи отримали травми. З вини водіїв легкових автомобілів (таксі) за 2025 рік сталося 66 дорожньо-транспортних пригод, в яких 10 осіб загинули та 53 особи отримали травми. За 2024 рік сталося 22 дорожньо-транспортні пригоди, в яких 2 особи загинули та 28 осіб отримали травми (рис. 2).

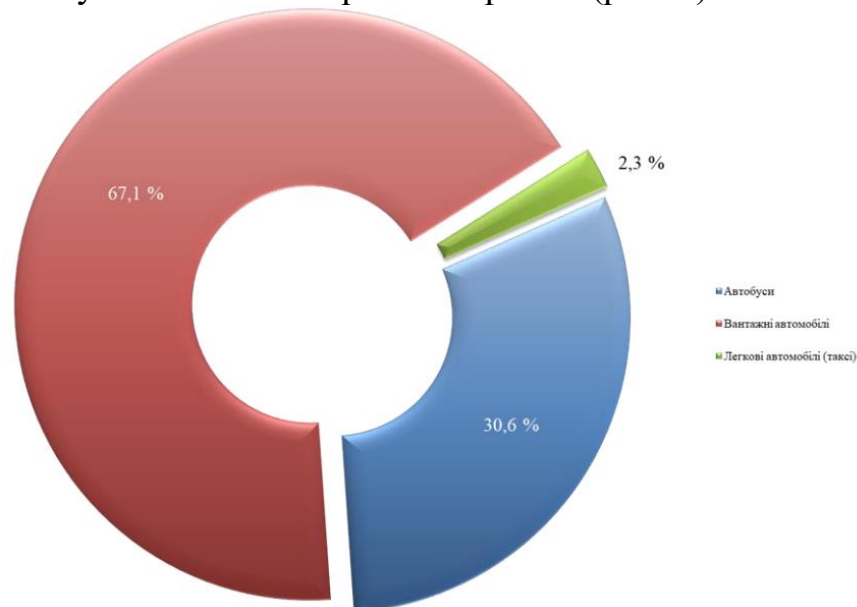


Рис. 2. Відсоткове співвідношення кількості ДТП з вини водіїв автобусів/вантажних автомобілів/таксі

Також за 2025 рік сталося 12 пожеж на автомобільному транспорті загального користування.

Проведений аналіз аварійності показав, що основними причинами настання цих дорожньо-транспортних пригод є: недотримання дистанції та інтервалу руху (33,4 %); порушення правил маневрування (30,4 %); перевищення швидкості руху (28,5 %); порушення правил проїзду перехресть (2,9 %); порушення правил обгону та/або виїзду на смугу зустрічного руху (2,4 %); експлуатація технічно несправних транспортних засобів (1,4 %); порушення правил проїзду зупинок громадського транспорту (0,6 %); керування у нетверезому стані (0,2 %); порушення правил проїзду залізничних переїздів (0,1 %); сон за кермом (0,1 %).

Аналіз ДТП, які сталися на маршрутах руху автомобільного транспорту загального користування свідчить, що більшість всіх ДТП сталися під час виконання перевезень пасажирів на міському маршруті, де зафіксовано 63,8 % ДТП, які сталися з вини водіїв автомобільного транспорту; 21,1 % ДТП сталися під час виконання перевезень пасажирів на внутрішньообласних маршрутах; 5,6 % ДТП сталися під час виконання перевезень пасажирів на міжобласних маршрутах; 5,1 % ДТП сталися під час виконання перевезень пасажирів на міжнародних маршрутах; 4,4 % ДТП сталися під час виконання інших видів перевезень пасажирів (нерегулярні та спеціальні перевезення).

Аналіз аварійності за видами ДТП засвідчив, що найбільша кількість ДТП – 31,4 % становлять попутні зіткнення; 31,3 % ДТП сталися в результаті бокового зіткнення; 13,6 % ДТП сталися в результаті наїзду на перешкоду (огорожі, бордюри, дерева та інші нерухомі предмети); 8,8 % ДТП сталися в результаті зустрічного зіткнення; у 4,8 % ДТП зафіксований наїзд на

транспортний засіб, що стоїть; 3,2 % ДТП становлять наїзди на пішоходів; у 3 % ДТП зафіксовано перекидання автотранспортних засобів; 1,4 % ДТП становлять наїзди на веломототранспорт; у 1,2 % ДТП зафіксовані падіння пасажирів; 0,7 % ДТП становлять падіння вантажу; 0,4 % ДТП становлять наїзди на тварин; 0,1 % ДТП становлять зіткнення із залізничним транспортом; 0,1 % ДТП становлять наїзди на гужовий транспорт.

Аналіз аварійності проведений за видами загиблих учасників дорожнього руху з вини водіїв автомобільних перевізників показав, що найбільша кількість загиблих становлять пішоходи – 27 осіб; 15 осіб – водії вантажних автомобілів; 14 осіб – пасажирів легкових автомобілів; 10 осіб – водії легкових автомобілів; 9 осіб – пасажирів автобусів; 7 осіб – велосипедисти; 5 осіб – водії автобусів; 3 особи – водії мотоциклів; 3 особи – пасажир вантажного автомобіля; 1 особа – водій гужового транспорту.

### **Література**

1. Інформація про стан аварійності на наземному транспорті в Україні за 2025 рік. URL: <https://dsbt.gov.ua/diialnist/bezpeka-na-transporti/informatsiia-pro-stand-avariinosti-na-nazemnomu-transporti-v-ukraini-za-2025-rik>

УДК 656.11-049.5-029:32

## **БЕЗПЕКА ДОРОЖНЬОГО РУХУ ЯК ПОЛІТИЧНИЙ ПРІОРИТЕТ**

**Олійник А.С.**, студентка,

**Колосок І.О.**, к.пед.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*

*E-mail: kolosok@nubip.edu.ua*

Четверта Глобальна міністерська конференція з безпеки дорожнього руху відбулася в Марракеші, Марокко, 18-20 лютого 2025 року.

Саміт, організований урядом Марокко та Всесвітньою організацією охорони здоров'я за темою “Будь відданий життю”, зібрав світових лідерів, посадовців і експертів для прискорення дій у досягненні мети Цілей сталого розвитку – скоротити світову смертність на дорогах удвічі до 2030 року.

Лідери приблизно з 50 країн взяли на себе нові національні зобов'язання щодо безпеки дорожнього руху, а ініціатори зі 100 країн підтримали Марракешську декларацію, яка закликає уряди зробити безпеку дорожнього руху політичним пріоритетом, забезпечити стійке фінансування та просувати дії для досягнення мети вдвічі скорочення смертей на дорогах до 2030 року [1].

Марракешська декларація висвітлює кілька моментів, пов'язаних із підвищенням безпеки дорожньої інфраструктури, а саме:

1. Декларація пропагує підхід “Безпечної системи” до дорожньої інфраструктури, який надає пріоритет безпеці на етапах планування, проектування, будівництва та обслуговування як міських, так і сільських доріг;

2. Передбачає встановлення безпечних обмежень швидкості, підкріплених заходами, такими як перепланування дорожньої інфраструктури для заохочення підтримувати обмеження швидкості;

3. Декларація просуває політику, що сприяє розвитку мультимодального транспорту та активної мобільності, включно з безпечною інфраструктурою для ходьби та велоспорту;

4. Відзначається важливість узгодження національних стандартів дорожньої інфраструктури з міжнародними стандартами;

5. У документі рекомендується надавати пріоритет науково обґрунтованим заходам та інвестиціям у безпеку дорожнього руху, включаючи допомогу при дорожньо-транспортних пригодах та покращенню інфраструктури, особливо в країнах із низьким і середнім рівнем доходу;

6. Підкреслює важливість надання повноважень місцевим органам влади та надання ресурсів для впровадження покращень безпеки дорожнього руху, оскільки багато рішень щодо міського планування та обмежень швидкості приймаються на місцевому рівні;

7. Декларація обговорює необхідність моніторингу впливу новітніх технологій на безпеку дорожнього руху та посилення збору даних про показники ефективності безпеки дорожнього руху;

8. Документ закликає до підтримки країн із низьким рівнем доходу, особливо в Африці, для покращення безпеки дорожнього руху, включно з адаптацією стандартів проектування дорожньої інфраструктури [2]

Україна може використати Марракешську декларацію як міжнародний орієнтир для оновлення власної стратегії безпеки дорожнього руху. Документ підкреслює важливість Vision Zero, інтеграції безпеки в транспортну та екологічну політику, що відповідає європейським стандартам. Це також дає можливість посилити міжнародну співпрацю та залучити фінансування для модернізації інфраструктури.

### **Література**

1. Fourth Global Ministerial Conference on Road Safety. URL: <https://www.who.int/news-room/events/detail/2025/02/18/default-calendar/fourth-global-ministerial-conference-on-road-safety>.

2. Marrakech Declaration. URL: [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/un-road-safety-collaboration/marrakech-declaration-en.pdf?sfvrsn=261f4417\\_3](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/un-road-safety-collaboration/marrakech-declaration-en.pdf?sfvrsn=261f4417_3)

УДК 656.2.08(1-21)"2025"

## **СТАН АВАРІЙНОСТІ НА МІСЬКОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ У 2025 РОЦІ**

**Томченко О.А.**, студент,

**Колосок І.О.**, к.пед.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*

*E-mail: kolosok@nubip.edu.ua*

Згідно зі статистичними даними протягом 2025 року за участю трамвайних вагонів і тролейбусів підприємств міського електричного транспорту сталася 602 ДТП, в яких 11 осіб загинули та 130 отримали травми. За 2024 рік на цьому виді

транспорту сталося 727 ДТП за участю трамвайних вагонів і тролейбусів підприємств міського електричного транспорту, в яких 10 осіб загинули та 185 осіб отримали травми (рис. 1) [1].

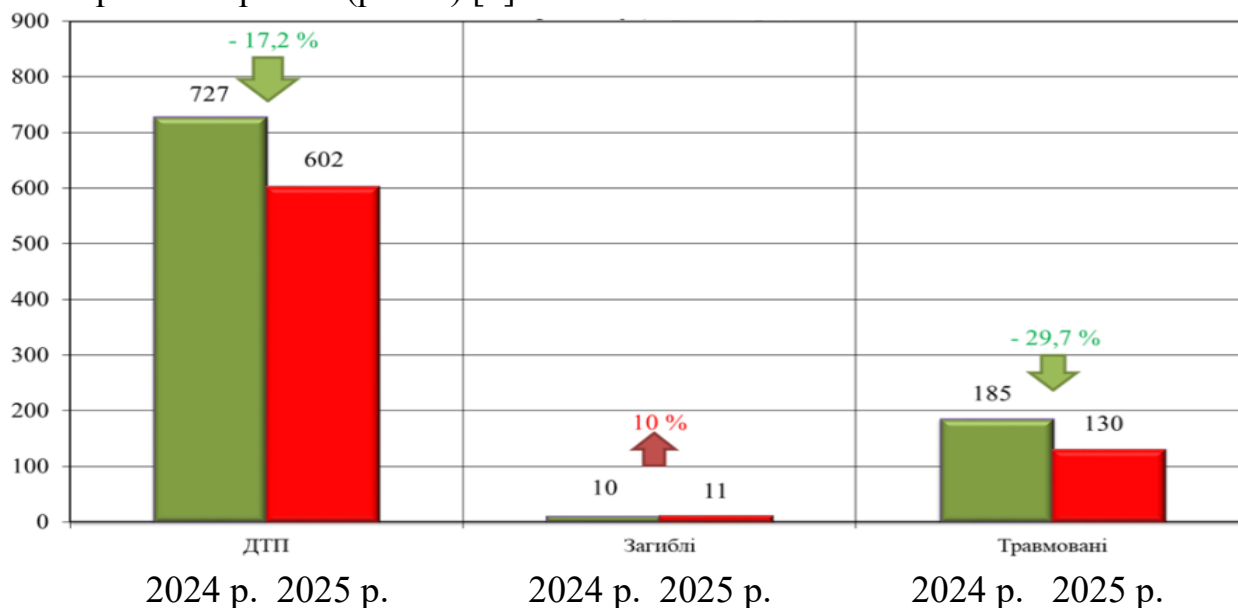


Рис. 1. Показники аварійності за участю водіїв міського електричного транспорту

Тобто, порівнюючи абсолютні показники аварійності на міському електричному транспорті видно, що за 2025 рік кількість ДТП за участю транспортних засобів підприємств міського електричного транспорту зменшилась на 17,2 % у порівнянні з 2024 роком, кількість загиблих осіб збільшилась на 10 %, а кількість травмованих осіб зменшилась на 29,7 %.

При цьому, за 2025 рік з вини водіїв рухомого складу міського електричного транспорту сталося 221 ДТП, в яких 2 особи загинули та 41 особа отримала травми, тоді як за 2024 рік з вини таких водіїв сталося 297 ДТП, в яких 2 особи загинули та 98 осіб отримали травми (рис. 2).

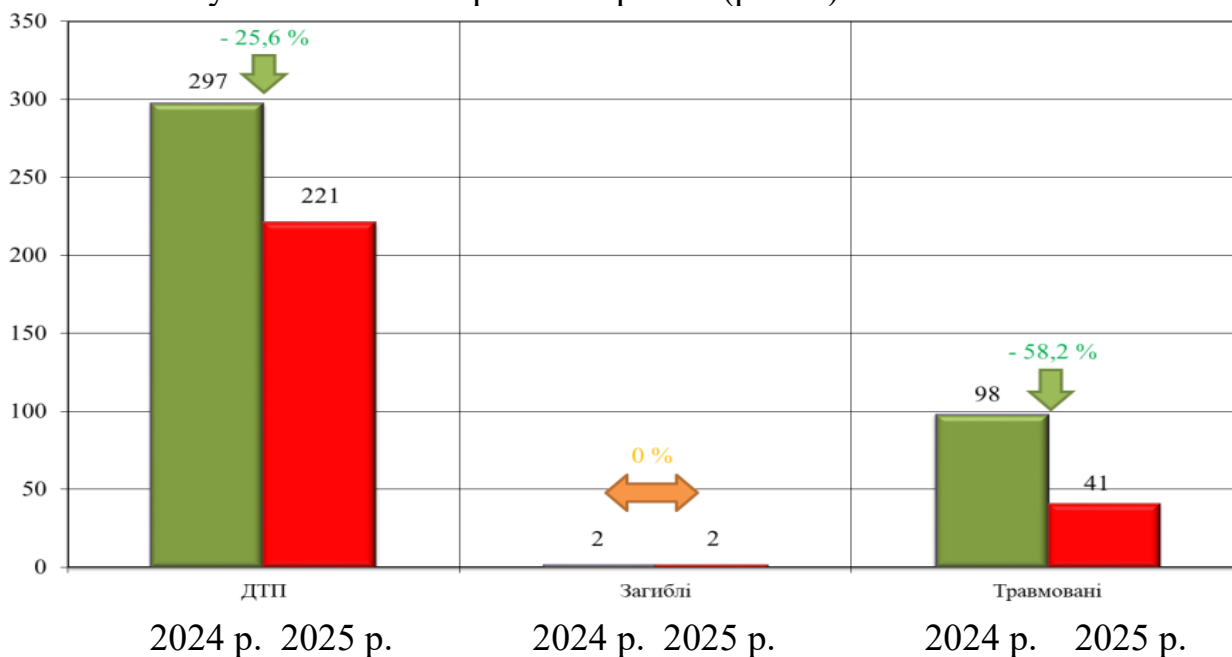


Рис. 2. Показники аварійності з вини водіїв міського електричного транспорту

Отже, порівнюючи ці показники аварійності, можна сказати, що протягом 2025 року з вини водіїв рухомого складу міського електричного транспорту кількість ДТП зменшилась на 25,6 %, кількість загиблих осіб в результаті цих ДТП залишилась на одному рівні, а саме 2 ДТП, та кількість травмованих осіб зменшилась на 58,2 %.

Якщо розподілити всі транспортні засоби міського електричного транспорту за видами, то з вини водіїв тролейбусів за 2025 рік допущено 171 ДТП, що на 21,9 % менше від кількості ДТП, допущених водіями тролейбусів за 2024 рік. У цих ДТП кількість загиблих залишилася на одному рівні, а саме 2 загиблих осіб, та отримали травми 28 осіб, проти 77 осіб, що на 63,6 % менше ніж у 2024 році.

При цьому, з вини водіїв трамвайних вагонів за 2025 рік допущено 50 ДТП, що на 35,9 % менше від кількості ДТП, допущених водіями трамвайних вагонів у 2024 році. У цих ДТП жодної особи не загинуло та отримали травми 13 осіб проти 21 травмованих, що на 38,1 % менше ніж у 2024 році. Також за 2025 рік на рухомому складі міського електричного транспорту сталися 2 пожежі.

Аналіз аварійності за видами ДТП засвідчив, що найбільша кількість ДТП на міському електричному транспорті – 37,4 % зафіксовані бокові зіткнення транспортних засобів; у 33,2 % ДТП становлять попутні зіткнення; 8,1 % ДТП становлять наїзди на перешкоду; 6,6 % ДТП становлять наїзди на транспортний засіб, що стоїть; 6,2 % ДТП становлять падіння пасажирів; 4,7 % ДТП становлять наїзди на пішоходів; 3,3 % ДТП становлять зустрічні зіткнення транспортних засобів; 0,5 % ДТП становлять наїзди на велосипедистів.

Проведений аналіз аварійності показав, що основними причинами настання цих дорожньо-транспортних пригод є: недотримання дистанції та інтервалу руху (40,2 %); перевищення швидкості руху (27,9 %); порушення правил маневрування (16,4 %); порушення правил проїзду перехресть (7,3 %); експлуатація технічно несправних транспортних засобів (5,9 %); порушення правил проїзду зупинок громадського транспорту (1,8 %); падіння струмоприймачів (0,5 %).

Залежно від пори доби, найбільша кількість ДТП сталася в денну пору доби, з 10 год. 00 хв. до 17 год. 00 хв., а саме в цей проміжок часу було зафіксовано 52 % ДТП; у вечірню пору доби з 17 год. 00 хв. до 22 год. 00 хв. сталася 26,2 % ДТП; у ранкову пору доби з 05 год. 00 хв. до 10 год. 00 хв. сталася 19,5 % ДТП; у нічну пору доби з 22 год. 00 хв. до 05 год. 00 хв. сталася 2,3 % ДТП.

Аналіз аварійності з вини водіїв міського електричного транспорту проведений за періодом експлуатації транспортних засобів показав, що 33,8 % ДТП трапляються з транспортними засобами, період експлуатації яких становить понад 20 років; 25,1 % ДТП сталися з транспортними засобами, період експлуатації яких становить від 5 до 10 років; 18,7 % ДТП сталися з транспортними засобами, період експлуатації яких становить від 10 до 20 років; 17,8 % ДТП сталися з транспортними засобами, період експлуатації яких становить від 1 до 5 років; 4,6 % ДТП сталися з транспортними засобами, період експлуатації яких становить до 1 року.

## Література

1. Аналіз стану безпеки руху та аварійності на наземному транспорті в Україні за 2025 рік. URL: <https://dsbt.gov.ua/diialnist/bezpeka-na-transporti/informatsiia-pro-stan-avariinosi-na-nazemnomu-transporti-v-ukraini-za-2025-rik>

УДК 656.11-049.5

### ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

**Хоненко М.В.**, студент,

**Колосок І.О.**, к.пед.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*

*E-mail: kolosok@nubip.edu.ua*

Щоб отримати набагато чіткіше розуміння різних питань, що впливають на загальні показники безпеки дорожнього руху, Європейська комісія у співпраці з експертами держав-членів розробила набір із восьми ключових показників ефективності безпеки дорожнього руху (Key performance indicators, KPI). KPI є невід'ємною частиною рамки політики безпеки дорожнього руху ЄС на 2021-2030 роки (табл. 1) [1]. Це набір із 8 базових показників, які дозволяють вимірювати не лише кількість аварій чи смертей, а й глибинні фактори ризику. Останні дослідження також зосереджені на серії додаткових показників ефективності безпеки дорожнього руху.

Таблиця 1. Ключові показники ефективності

Показник	Визначення
Швидкість	Відсоток транспортних засобів, що рухаються в межах обмеження швидкості
Ремінь безпеки	Відсоток пасажирів транспортного засобу, які правильно використовують ремінь безпеки або систему дитячого утримання
Захисне обладнання	Відсоток пасажирів моторних двоколісних транспортних засобів і велосипедів, які застосовують захисний шолом
Алкоголь	Відсоток водіїв, які керують у межах допустимого рівня вмісту алкоголю в крові
Відволікання	Відсоток водіїв, які НЕ використовують портативний мобільний пристрій
Безпека транспортних засобів	Відсоток нових легкових автомобілів із рейтингом безпеки Euro NCAP, рівним або вище за заздалегідь визначений поріг
Інфраструктура	Відсоток пройденої відстані дорогами з рейтингом безпеки вище погодженого порогу
Післяаварійна допомога	Між екстремим викликом після зіткнення, що призвело до особистих травм і прибуттям на місце аварії служби екстреної допомоги минуло у хвилинах і секундах

Крім того, було визначено десять нових експериментальних та

доповнюючих показників:

- керування під впливом наркотиків;
- частка 30 км/год доріг у міських зонах;
- недотримання вимог червоного сигналу світлофора з боку учасників дорожнього руху;
- дотримання правил дорожнього руху на перехрестях;
- застосування шоломів водіями електросамокатів, гіроскутерів, моноколеса, сегвеїв тощо;
- самооцінка ризикованої поведінки;
- ставлення до ризикованої поведінки;
- використання велосипедистами світлових приладів у темний час доби;
- забезпечення дотримання правил дорожнього руху;
- альтернативні індикатори перевищення швидкості [2].

Ці показники ефективності безпеки дорожнього руху можуть бути адаптовані у Стратегії безпеки дорожнього руху України, щоб:

- встановити єдину систему моніторингу з прозорими показниками;
- порівнювати прогрес із країнами ЄС;
- визначати пріоритети – наприклад, контроль швидкості на сільських дорогах чи захист велосипедистів у містах.

#### **Література**

1. Key performance indicators (KPIs). URL: [https://road-safety.transport.ec.europa.eu/european-road-safety-observatory/data-and-analysis/key-performance-indicators-kpis\\_en#key-performance-indicators-kpis](https://road-safety.transport.ec.europa.eu/european-road-safety-observatory/data-and-analysis/key-performance-indicators-kpis_en#key-performance-indicators-kpis).
2. Key Performance Indicators. URL: <https://trendlineproject.eu/about/key-performance-indicators>

**СЕКЦІЯ**  
**СОЦІАЛЬНІ, ЕКОНОМІЧНІ, ЕКОЛОГІЧНІ ТА ПРАВОВІ АСПЕКТИ**  
**РОЗВИТКУ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ**

УДК: 656:631.1(477)

**ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМИ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ В**  
**ТРАНСПОРТНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**  
**УКРАЇНИ**

**Дьомін Олександр Анатолійович**, д. пед. н., доцент

**Максименко Катерина Іванівна**, студентка

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: domin@nubip.edu.ua

Система масового обслуговування в аграрному секторі України має унікальну специфіку, оскільки вона напряму залежить від природно-кліматичних циклів та поточної безпекової ситуації. У 2026 році ці системи стають більш технологічними, але залишаються вразливими до пікових навантажень. На основі всебічного аналізу специфіки роботи систем масового обслуговування, ми виділили такі ключові особливості їх функціонування в транспортному забезпеченні сільського господарства:

- яскраво виражена сезонність (нерівномірність потоку вимог);
- стохастичність (випадковість) характеру подій
- територіальна розосередженість (мережеві систем масового обслуговування);
- пріоритетність обслуговування.

Розглянемо окремо кожен з наведених ключових особливостей.

Яскраво виражена сезонність полягає в тому, що переважна більшість аграрних систем масового обслуговування (елеватори, магістральні зерносховища (рис. 1), сервісні центри сільгосптехніки, логістичні вузли, приймальні пункти цукрових заводів та ін.) стикаються з екстремальною нерівномірністю запитів в сезон пікових навантажень, що пов'язані з виконанням певних технологічних процесів у сільському господарстві (сівба, внесення добрив, збирання врожаю сільськогосподарських культур). Все це приводить до суттєвої нерівномірності потоку вимог протягом календарного року. Періодом різкого зменшення вимог є зимовий період, коли інтенсивність заявок на обслуговування, зокрема техніки в полі мінімальна. До періоду пікових навантажень слід віднести весну та літо, коли проходять посівна кампанія та жнива. В ці періоди потік заявок зростає в десятки разів, що створює черги на елеваторах або дефіцит вільних комбайнів.

Особливість, що враховує стохастичний (випадковий) характер подій полягає в тому, що в агросекторі потік вимог (наприклад, вихід з ладу зерновоза під час технологічних перевезень зерна від збирального комбайна) є випадковим процесом, який важко точно спрогнозувати. Час відновлення залежить від складності несправності. Це в свою чергу відтерміновує строки збирання через

затримку перевезень зерна від збиральної техніки до місць післязбиральної його обробки. Якщо система масового обслуговування не справляється вчасно, аграрники не просто втрачають час, вони втрачає врожай (через невчасну просушку зерна, зміну погодних умов та осипання зерна в полі).



Рис. 1. Період пікової кількості заявок на терміналі магістрального зерносховища

Особливість, що враховує територіальну розосередженість систем масового обслуговування виникла вже під час повномасштабного вторгнення у зв'язку з тим, що сучасна українська агросистема перейшла від централізованих гігантських вузлів до розгалуженої мережі малих пунктів обслуговування. Так виникли і множаться мережеві системи масового обслуговування. Такий підхід у боротьбі із загрозами враження, зменшує черги в одній точці, але вимагає складнішого управління логістичними потоками між усіма мережевими системами масового обслуговування.

Особливість пріоритетності обслуговування полягає в тому, що у вітчизняному сільському господарстві, системи масового обслуговування не завжди працюють за принципом «перший прийшов — перший обслуговується» (FIFO), а за певною системою пріоритетів. Наприклад, під час збирання врожаю пріоритет на елеваторі може надаватися зерну з вищою вологістю, яке потребує термінової обробки, щоб не почалося самозігрівання.

Специфіка роботи систем масового обслуговування в контексті транспортного забезпечення сільського господарства в Україні на п'ятому році воєнного стану відрізняється від її аналогів мирного часу тим, що зараз до класичної теорії черг додається фактор безпекових перерв. Будь яка система масового обслуговування повинна бути здатною миттєво «призупинити» обслуговування під час повітряної тривоги та швидко відновити роботу, обробляючи накопичену чергу в прискореному темпі.

### **Література**

1. Дьомін О.А., Загурський О.М. Вантажні перевезення: підручник. Київ: Видавництво «Компринт», 2024. 646.
2. Дьомін О.А., Загурський О.М. Транспортні технології в аграрному виробництві: Навчальний посібник. Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2021. 465.

УДК 658.7:005.21

## ВИЗНАЧЕННЯ СТРАТЕГІЧНИХ НАПРЯМІВ ЛОГІСТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

**Загурський Олег Миколайович** д.е.н., професор,  
**Попов Нікіта Дмитрович**, магістрант

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ*

E-mail: zagurskiy@nubip.edu.ua

За сучасного етапу розвитку економіки механізм ринкової влади здебільшого зосереджений в руках споживача. Відповідно боротьба за клієнта змушує логістичні компанії розробляти стратегії побудовані на компромісі між витратами, пов'язаними з наданням логістичних послуг та рівнем логістичного сервісу, що надається клієнтам. Серед них найбільш популярною є стратегія оптимальних витрат [1, 2], що концентрує зусилля компанії на наданні більш високого рівня якості обслуговування клієнтів за ціною на рівні конкурентів або навіть нижче. За її реалізації для служби логістики першочерговим завданням виступає забезпечення умов для виконання операцій, що гарантують поліпшення якості обслуговування споживачів. Так, компанія-постачальник може реалізовувати цю стратегію по-різному. Наприклад, це може бути:

- розміщення запасів на складах, максимально наближених до клієнтів;
- використання найшвидших способів доставки продукції;
- формування партій постачань такого розміру, що буде найбільш прийнятним для клієнта.

Кожен із перелічених варіантів управління матеріальним потоком буде відповіддю логістики на обрану маркетингом стратегію. При цьому різні маркетингові стратегії по-різному впливатимуть на діяльність самої логістики – її бюджет, рівень логістичних витрат, рівень використання логістичної інфраструктури тощо. Узгодження маркетингової та логістичної стратегій породжує низку стратегічних задач логістики пов'язаних із підвищенням якості логістичного сервісу через регулювання рівня логістичного сервісу, або рівня логістичних витрат (рис. 1).

		Підвищення якості логістичного сервісу				
Стратегічні завдання (напрями) логістики	<i>Мінімізація операційних логістичних витрат</i>	Мінімізація поточних логістичних активів (рівня запасів)	Підвищення ефективності використання логістичної інфраструктури	Гнучка реакція на потреби клієнтів	Стійкість циклу виконання замовлень клієнтів	Оптимізація поточних логістичних активів (рівня запасів)
	<i>Максимізація рівня логістичного сервісу</i>	Максимізація параметрів логістичних послуг	Максимізація продуктивності логістичної інфраструктури	Максимальна гнучкість логістичного обслуговування	Надійність виконання замовлень клієнтів	Мінімізація циклу виконання замовлення

Рис. 1 Визначення стратегічних напрямів діяльності логістики

Розв'язання кожної із таких задач окремо потребує застосування ресурсів (фінансових, виробничих, трудових, інформаційних тощо), а результат не

гарантує загального успіху компанії [3]. Більше того загально відомо, що локальні оптимуми – найбільші вороги загальної ефективності компанії, бо зосередження уваги лише на досягненні точкових поліпшень може призводити до небажаних, а інколи й небезпечних наслідків для організації в цілому. Тому при постановці стратегічних цілей рекомендується використовувати комплекс показників (індикаторів), що характеризують ефективність діяльності компанії у визначеному напрямку. При чому кожен окремий показник має відобразити основну, а не другорядну функцію при прийнятті рішення в логістичній системі. Набір індикаторів, що розробляється, як сукупність технічних показників автомобільних перевезень та транспортно-складських комплексів покликаний забезпечувати загальні вимоги функціонування та допустимі значення параметрів транспортно-логістичної системи, що визначають не тільки працездатність її елементів, а й ефективність системи в цілому.

### **Література**

1. Li H., Xiao Q., Peng T. Optimal Pricing Strategy of New Products and Remanufactured Products Considering Consumers' Switching Purchase Behavior. *Sustainability* 2023, 15, 5246.
2. Thompson A.A, Strickland A.J. Strategic Management: Concepts and Cases. McGraw-Hill/Irwin, 2003. 450.
3. Zagurskiy O., Savchenko L., Domin O., Opalko V. Outsourcing of logistics services as strategic advantage of supply chain. Proceedings of 24th International Scientific Conference Engineering for Rural Development 21-23.05.2025 Jelgava, LATVIA. 262-267.

УДК 658.7:005.52

## **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОНОКАНАЛЬНИХ ТА БАГАТОКАНАЛЬНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАНЬ**

**Загурський Олег Миколайович**, д.е.н., професор,  
**Хоненко Максим Вікторович**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ*  
E-mail: zagurskiy@nubip.edu.ua

Поєднання логістики та сервісу в онлайн-рітейлі стає основним каталізатором розвитку сучасного товарного ринку в якому відбувається зміна транспортно-логістичної та складської інфраструктури, яка тепер має структурно перебудуватися й обслуговувати багатоканальну логістику товаропостачання. Становлення багатоканальної моделі постачання формує принципово нову роль логістики, яка не тільки забезпечує можливість диференціації продуктово-сервісної пропозиції, але і створює додатковий бар'єр входу на ринок, підвищуючи монетизацію рітейлу в цифрових каналах збуту. Багатоканальні мережеві ланцюги постачання функціонально і організаційно більш досконалі, максимально відповідають вимогам сучасного ринку та дозволяють сформулювати адекватну товарну пропозицію в мережі релевантних каналів постачання та збуту.

Таблиця 1 Порівняльні особливості моноканальних та багатоканальних

ланцюгів постачань у системі товаропостачання споживчого ринку

Параметр ЛП	Моноканальні ланцюги	Багатоканальні ланцюги
Ринкова стійкість	Низька. Маржа нерівномірно розподілена. Під час криз додана вартість скорочується, частина ланок виходить із складу ланцюга, викликаючи його руйнування	Висока. Ланцюг постачань короткий (система прямого продажу). Додана вартість оптимальна. Під час кризи ланцюги зростають ще швидше за рахунок цінових переваг та оптимального рівня витрат
Логістика як частина бізнес-моделі продажів	Логістика виконує допоміжну функцію та не є частиною бізнес-моделі. Зростання доданої вартості відбувається в численних ланках ланцюга.	Логістика – релевантна частина бізнес-моделі збуту. Вона забезпечує скорочення витрат, що є необхідною умовою існування онлайн-ритейла.
Критерій ефективності функціонування	Мінімум витрат	Максимум економічного ефекту, ціннісної пропозиції
Рівень цін	Високий.	Низький. Забезпечують нижчий рівень цін на виході із ланцюга.
Рівень доданої вартості	Високий	Низький
Інновації та технології, їх роль	Низький рівень інновацій	Високий рівень інновацій
Інституціональна структура торгово-логістичних ланок	Домінування торгових мереж. Магістральна логістика та товаропостачання торгових точок.	Інституціональна структура торгово-логістичних ланок різноманітна: від інтернет-магазинів до маркетплейсів. Багатоланкова логістика: перша миля, фулфілмент, обробка замовлень; широкосмугова остання миля.
Організаційно-технологічна складність ланцюга постачань	Низька	Висока. Ланцюг складніший, різноманітна логістика останньої милі. Операційно-технологічна стикування платформ магістральної логістики – фулфілмента – останньої милі.
Роль та значення логістики.	Середня	Висока. Логістика як драйвер та релевантна частина продуктово-сервісної пропозиції
Взаємодія логістики та маркетингу в ланцюгу	Значення маркетингу зростає	Збереження паритету логістики та маркетингу у системі омніканальних ланцюгів постачань Розширення функціоналу маркетингу у механізмах формування купівельної лояльності
Модель купівельної поведінки	Високий рівень купівельної лояльності в оф-лайн.	Низький рівень лояльності ритейлеру. Покупець використовує від 3 до 7 каналів для пошуку та придбання товару
Паритет ринкової влади	Низький	Високий. Торгівля стає домінуючою в ланцюзі постачання
Економічні особливості ринкового циклу розвитку	Зростання ринку та кінцевого попиту, збільшення доданої вартості та асиметричне зміщення центру її накопичення у торгівлю. Зростання валютних та ринкових ризиків у роздрібній торгівлі, їх трансляція в кінцеву ціну товару.	Більш жорстка конкуренція, ціновий тиск. Криза, скорочення попиту, необхідність формування високонкурентної пропозиції та прогресивного клієнтського досвіду.

Результати порівняння показують, що багатоканальні ланцюги є функціонально і організаційно більш досконалим видом ланцюгів постачань, які максимально відповідають вимогам сучасного ринку та дозволяють сформувати адекватну товарну пропозицію в мережі релевантних каналів збуту. З погляду логістики, маркетингу, конфігурації ланцюга, рівня операційного управління товарними та інформаційними потоками, наскрізного управління ланцюгом поставок та запасами в каналах збуту, взаємодії з товаровиробниками, багатоканальний збут, по суті, є новим еволюційним шаблоном у розвитку системи товаропостачання споживчого ринку.

### **Література**

1. Zagurskiy O., Pivtorak M., Bondariev S., Demin O., Kolosok I. Methods of reliability management in supply chain. Proceedings of 22st International Scientific Conference Engineering for Rural Development 24-26.05.2023 Jelgava, LATVIA. 76-84.
2. Zagurskiy O., Pokusa T., Zagurska S., Ohienko M., Titova L., Rogovskii I., Ohienko A., Razumova K., Berezova L. Current trends in development of transport and logistics systems of delivery of fast perishable foodstuffs. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2021, 238.

УДК 656.13:504

## **РОЗВИТОК ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ УРБАНІЗАЦІЇ**

**Степанов Олексій Вікторович**, д.т.н., професор,  
**Сліпуха Тетяна Іванівна**, асистент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*  
e-mail: o.stepanov@nubip.edu.ua

Інтенсивні процеси урбанізації, що спостерігаються в більшості країн світу, супроводжуються зростанням чисельності міського населення, збільшенням транспортної рухливості та підвищенням навантаження на транспортну інфраструктуру. У цих умовах автомобільний транспорт стає одним із основних джерел негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема через викиди забруднюючих речовин, шумове навантаження та споживання енергетичних ресурсів. Це обумовлює необхідність формування нових підходів до розвитку транспортних систем, орієнтованих на зниження екологічного навантаження та забезпечення сталого розвитку міського середовища.

Екологічно чистий транспорт розглядається як сукупність технічних, організаційних та управлінських рішень, спрямованих на мінімізацію негативного впливу транспортної діяльності на довкілля. До таких рішень відносяться використання електричних та гібридних транспортних засобів, впровадження альтернативних видів палива, розвиток громадського транспорту, а також оптимізація транспортних потоків із застосуванням сучасних інформаційних технологій. Комплексне поєднання зазначених заходів дозволяє досягти значного зниження рівня викидів та підвищення енергоефективності транспортних систем [1].

В умовах урбанізації особливого значення набуває розвиток електричного транспорту, який характеризується відсутністю локальних викидів забруднюючих речовин та нижчим рівнем шуму. Впровадження електробусів, електромобілів та інших видів електротранспорту сприяє покращенню якості повітря у містах та зниженню рівня шумового забруднення. Разом з тим, ефективність такого підходу значною мірою залежить від джерел генерації електричної енергії, що обумовлює необхідність розвитку відновлюваних джерел енергії та модернізації енергетичної інфраструктури [2].

Важливим напрямом є також використання альтернативних видів палива, зокрема біопалива, водню та синтетичних палив. Застосування таких енергоресурсів дозволяє зменшити викиди парникових газів та знизити залежність від традиційних викопних ресурсів. Водночас розвиток інфраструктури для використання альтернативних палив потребує значних інвестицій та відповідної державної підтримки.

Суттєву роль у забезпеченні екологічної безпеки відіграє розвиток громадського транспорту, який дозволяє зменшити кількість індивідуальних поїздок і, відповідно, знизити навантаження на транспортну систему. Підвищення якості, доступності та привабливості громадського транспорту є важливою умовою формування екологічно орієнтованої транспортної поведінки населення. У цьому контексті важливим є впровадження інтегрованих транспортних систем, що забезпечують зручну взаємодію різних видів транспорту.

Застосування сучасних інформаційних технологій також відіграє важливу роль у розвитку екологічно чистого транспорту. Використання інтелектуальних транспортних систем дозволяє оптимізувати транспортні потоки, зменшити затори та скоротити час перебування транспортних засобів у русі, що сприяє зниженню викидів забруднюючих речовин. Аналіз даних про рух транспортних потоків дозволяє формувати ефективні стратегії управління транспортною системою з урахуванням екологічних критеріїв [3].

Разом з тим, розвиток екологічно чистого транспорту супроводжується рядом проблем. Однією з основних є висока вартість впровадження нових технологій, що обмежує їх широке застосування. Іншою проблемою є недостатній рівень розвитку інфраструктури, зокрема зарядних станцій для електромобілів та заправних комплексів для альтернативних видів палива. Крім того, існує необхідність удосконалення нормативно-правового забезпечення та стимулювання використання екологічно чистих транспортних засобів.

Проблемним залишається також питання утилізації відпрацьованих акумуляторів та інших компонентів електротранспорту, що може створювати додаткове екологічне навантаження. У цьому контексті важливим є розвиток технологій переробки та повторного використання матеріалів, що дозволить мінімізувати негативний вплив на довкілля.

Перспективи розвитку екологічно чистого транспорту в умовах урбанізації пов'язані з комплексним впровадженням інноваційних технологій, інтеграцією транспортних систем та формуванням ефективної державної політики у сфері транспорту та екології. Особливого значення набуває розвиток концепції сталого

міського транспорту, що передбачає баланс між економічними, соціальними та екологічними аспектами функціонування транспортної системи.

Очікується, що подальший розвиток електротранспорту, впровадження водневих технологій та використання відновлюваних джерел енергії дозволять суттєво знизити рівень негативного впливу транспорту на навколишнє середовище. Важливу роль у цьому процесі відіграватиме цифровізація транспортної галузі, яка забезпечить більш ефективне управління транспортними потоками та ресурсами.

Таким чином, розвиток екологічно чистого транспорту є необхідною умовою забезпечення сталого розвитку міських територій в умовах урбанізації. Комплексний підхід, що поєднує технічні інновації, організаційні заходи та ефективне управління, дозволяє досягти значного зниження екологічного навантаження та підвищення якості життя населення.

#### **Література:**

1. European Environment Agency. Transport and Environment Report 2023. Copenhagen, 2023.
2. International Energy Agency. Global EV Outlook 2023. Paris, 2023.
3. OECD. ITF Transport Outlook 2023. Paris, 2023.
4. Міністерство інфраструктури України. Стратегія сталої мобільності в Україні до 2030 року. Київ, 2021.
5. United Nations. Sustainable Urban Mobility Report. New York, 2022.

УДК 351

### **БЕЗБАР'ЄРНІСТЬ У ТРАНСПОРТІ ТА ТРАНСПОРТНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ БІЛОЦЕРКІВСЬКОЇ ГРОМАДИ**

**Юхименко Петро Іванович**, д.е.н., професор,  
e-mail: p0504684000@gmail.com

**Бібиков Ігор Володимирович**, аспірант,  
e-mail: ibibikoff@gmail.com

*Білоцерківський національний аграрний університет*

В умовах героїчного супротиву російській агресії впровадження безбар'єрності у транспорті стає однією з актуальних проблем сьогодення для Білоцерківської громади, власне як і для України загалом. На жаль, через війну багато громадян Білоцерківської громади отримали травми, які призвели до тимчасової чи постійної втрати працездатності і можливості вільного пересування. Саме тому створення доступної транспортної інфраструктури для цієї категорії людей та людей з особливими потребами стає актуальною проблемою розвитку громади, вирішення якої не зволікає в часі і має відповідати потребам таких осіб уже сьогодні.

Створення умов безбар'єрності — це не лише про фізичну доступність цих осіб скористатися послугами транспортної інфраструктури громади, але її наявність відкриває можливості кожної людини реалізувати свій потенціал,

незалежно від обставин. Тому впровадження безбар'єрності стає не просто пріоритетом, а необхідністю для державних інститутів громади.

Відповідно до Національної стратегії зі створення безбар'єрного простору в Україні до 2030 року [2] та цільової програми громади безбар'єрності у транспорті та транспортній інфраструктурі нині є фізично доступною тільки половина потреб. Ці потреби включають повного досягнення доступності до громадського транспорту (використання низькопідлогових автобусів, тролейбусів), облаштування зупинок, вокзалу (встановлення ліфтів, ескалаторів, пандусів на шляхах до них), звукові та візуальні інформаційні системи попередження, спеціально обладнані місця для пасажирів з інвалідністю та багато інших елементів, що забезпечують комфортне переміщення для всіх груп населення з особливими потребами. Крім того, важливою запорукою забезпечення безбар'єрності є навчання персоналу громадського транспорту щодо готовності надати необхідну допомогу пасажиром з особливими потребами.

Для виконання Стратегії щодо потреб ветеранів у 2026 році транспорт громади поповнився інклюзивним автобусом, який працюватиме при Ветеранському просторі та допомагатиме Захисникам і Захисницям зручно діставатися до лікарів, реабілітаційних центрів і державних установ. Рішенням ради громади також виділено два авто, які працюватимуть у системі соціального таксі на базі територіального центру соцпослуг ім. Петера Новотні та центру реабілітації «Шанс» [3] та 4 автобуси для безкоштовного перевезення [1]. Безкоштовне перевезення буде для всіх мешканців, а не лише для пільгових категорій. Автобуси будуть курсувати за потребою, надаючи соціальний комфорт і підтримку економіки громади у складні часи. Вони допомагатимуть людям дістатися до лікарень, установ або навчальних закладів - не лише по місту, а й по області. Послуга соціального таксі надаватиметься безкоштовно для вказаних категорій населення. Один раз на тиждень можна скористатися безкоштовно, всі інші поїздки будуть платними, згідно з затвердженими тарифами. Окремо передбачено, що особи, які проходять хіміотерапію, променеву терапію або гемодіаліз, зможуть користуватися послугою безкоштовно весь період лікування.

Проведене нами експрес-опитування на зупинках маршрутних авто (30 пасажирів з особливими потребами), майже половина з яких (49,6 %) засвідчили про відсутність комфортних місць для очікування посадки на транспорт для осіб з інвалідністю. Зазвичай, навіть якщо наявні комфортні місця для очікування, шляхи руху до них є фізично труднодоступними.

Розв'язання проблеми доступності транспорту для осіб з інвалідністю та маломобільних громадян Білоцерківської громади в нинішніх умовах можливе за допомогою різних економічних інструментів впливу, які повинні враховувати реальний стан, а також бізнес-модель перевезень. Це можуть бути фінансові стимули, програми оновлення громадського транспорту громади, що фінансуються з місцевого бюджету або санкцій, наприклад штрафи чи вимоги, невиконання яких перешкоджатиме доступу на певний ринок.

В нинішніх умовах війни таке оновлення громадського транспорту Білоцерківської громади можливе за рахунок фінансування з місцевого бюджету та/або залучення міжнародної допомоги. Для досягнення результативності в реалізації Стратегії безбар'єрності транспорту для людей з особливими потребами громади важливою є детінізація перевезень (за рахунок спрощення доступу до легального ринку та підвищення ефективності контролю), забезпечення конкуренції, поступове та прогнозоване підвищення відповідних вимог. Для їх ефективної дії необхідне прийняття стандартів доступності, формування відповідного інституціонального порядку та включення до пріоритетів державної політики України.

### **Література**

1. Безкоштовний транспорт у Білій Церкві: перші чотири автобуси передали громаді. URL: <https://www.facebook.com/espresobc/videos>
2. Про схвалення Національної стратегії із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України. від 14 квітня 2021 р. № 366-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/366-2021-%D1%80#Text>
2. У Білій Церкві запрацювало «Соціальне таксі» у новому форматі. URL: <https://www.facebook.com/bilatserkvatv/videos/>

## **LABORATORY INVESTIGATION OF ENVIRONMENTAL EFFECTS ON COSMIC RAYS USING PASCO DETECTION SYSTEMS FOR EXPERIENTIAL ENGINEERING EDUCATION**

**Gregg Elena**, Ph.D., Senior professor,  
*egregg@oru.edu*

**Pavel Navitski**, Ph.D., Associate Professor,  
*pnavitski@oru.edu*

**Mclaughlin John**, student,  
*Johnmcgray@oru.edu*

**Pendell Gabriel**, student,  
**Khlem Wesley**, student,

*Oral Roberts University, Tulsa OK, USA*

*Abstract.* This project presents an innovative approach to integrating experimental particle physics into undergraduate engineering education through the implementation of a PASCO-based cosmic ray detection system. The work is currently at the experimental testing and validation stage, where students perform real-time measurements and data analysis of cosmic ray muons and secondary particle cascades.

The purpose of this work is to develop a scalable, hands-on laboratory framework that bridges theoretical physics concepts with practical engineering applications. Using a PASCO Muon Observatory equipped with Geiger–Müller detectors, students systematically investigated the effects of shielding material thickness and detector orientation on cascade formation and muon flux distribution.

The experimental methodology includes two configurations: (1) cascade (shower) mode, where steel plate thickness is varied to optimize secondary particle production, and (2) telescope mode, where angular dependence of muon flux is measured. Data acquisition and analysis were conducted using PASCO software, enabling reproducible and accessible experimentation.

Results identified an optimal material thickness of approximately 33–35 mm for maximizing cascade detection efficiency and confirmed the expected angular dependence of muon intensity proportional to  $\cos^2\theta$ . Additional observations indicate minor correlations between environmental variables, such as atmospheric pressure and temperature, and muon detection rates.

The innovation of this work lies in transforming abstract particle physics principles into an accessible, modular, and engineering-focused laboratory experience. Compared to traditional instruction, this approach enhances student engagement and develops competencies in instrumentation, data analysis, and experimental design.

This project provides a replicable model for incorporating research-driven learning into engineering curricula, preparing students for real-world challenges in physics-based engineering and advanced technological fields.

*Introduction.* The Earth is continuously exposed to cosmic radiation originating from both galactic and extragalactic sources. Early investigations initially assumed this radiation to be purely electromagnetic; however, pioneering experiments in the early twentieth century established that cosmic radiation also includes high-energy charged particles, primarily protons and heavier nuclei. Today, it is estimated that approximately 10–15% of the ionizing radiation at Earth's surface originates from cosmic rays. A significant secondary product of cosmic ray interactions in the atmosphere is the muon. Muons are charged leptons with a mass approximately 207 times that of the electron and a mean lifetime of 2.2  $\mu\text{s}$ . They are produced primarily through the decay of charged pions and kaons formed when primary cosmic rays collide with atmospheric nuclei. Despite their short lifetime, relativistic time dilation allows muons to reach the Earth's surface in substantial numbers, with an average flux of roughly 10,000 muons per square meter per minute.

Because muon flux is sensitive to both geometric and environmental factors, muon detection provides a powerful and accessible platform for undergraduate investigations in modern physics. This experiment builds on prior work by focusing on how atmospheric pressure and temperature modulate muon detection rates at ground level, while simultaneously reinforcing core concepts in particle physics, statistics, and experimental design.

*Theory.* The Standard Model of particle physics provides the framework for understanding the particles and interactions relevant to this experiment (Figure 1). Matter consists of fermions, leptons and quarks, which interact via bosonic force carriers. In high-energy cosmic ray interactions, quarks and gluons dominate the initial collisions, producing unstable hadrons such as pions.

Neutral pions decay almost exclusively into pairs of high-energy photons, initiating electromagnetic cascades via pair production and bremsstrahlung. Charged pions decay predominantly into muons and muon neutrinos. While electromagnetic cascades are responsible for the “soft” component of cosmic radiation, muons

constitute the dominant “hard” component at ground level due to their high penetration depth.

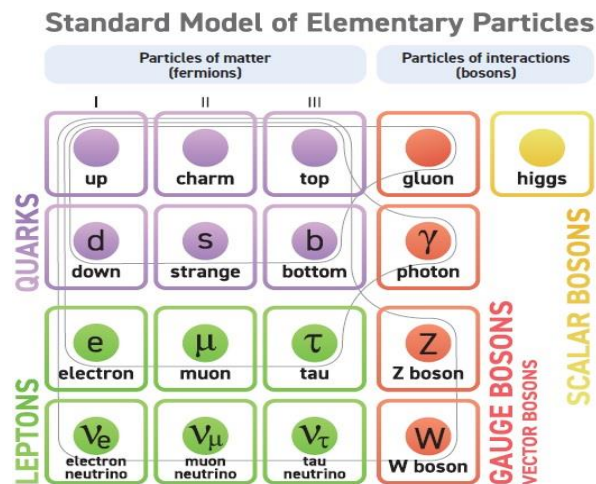


Fig. 1. Standard Model of elementary particles [13]

The Standard Model categorizes particles into three groups: bosons, leptons, and quarks. All matters consist of leptons and quarks, collectively referred to as fermions. As shown in Figure 1, there are six types of leptons and six types of quarks. Quarks combine in groups of two or more form hadrons. Familiar examples of hadrons include protons and neutrons, while others, such as pions, exist only briefly under high-energy conditions.

A fundamental principle of the Standard Model is that fermions can only interact and influence one another through intermediary particles known as bosons. These bosons serve as force carriers, enabling interactions between particles. The gluon mediates interactions exclusively between quarks, the W and Z bosons interact only with fermions, and the photon interacts solely with charged particles. Bosons also play a critical role in facilitating the decay and transformation of certain leptons into other leptons.

As noted earlier, some particles can only exist under very high-energy conditions. According to Albert Einstein’s mass-energy equivalence principle ( $E=mc^2$ ), the greater the mass of a particle, the more energy is required to produce it. The total energy needed to create a particle is directly proportional to its mass. As high-energy particles lose energy, they decay into lighter particles, transforming their mass into energy while conserving the total mass-energy balance.

Particle	Type (Composition)	Charge	Mass (MeV)	Interactions
Pion	Boson ( $u\bar{d}/\bar{u}d/\bar{d}\bar{d}/d\bar{u}$ )	$0, \pm 1$	139. 57/134. 9	Strong, Weak, Electromagnetic
Muon	Lepton	- 1	105. 66	Weak, Electromagnetic
Photon	Boson	0	N/A	Weak, Electromagnetic
Electron	Lepton	- 1	0. 511	Weak, Electromagnetic
Positron	Lepton	1	0. 511	Weak, Electromagnetic

Fig. 2. Information about some of the particles that may be present in this experiment [13]

Most cosmic particles originate as high-energy pions in deep space, undergoing decay into lighter particles as they lose energy.

Pions have a relatively large mass, requiring substantial energy for their production. These particles can be positively charged, negatively charged, or neutral. In this experiment, only the decay of neutral pions leads to the electromagnetic cascades under investigation. Charged pions, on the other hand, decay into muons or muon neutrinos, which account for approximately 75% of the cosmic particles striking Earth. Neither muons nor muon neutrinos contribute to the formation of electromagnetic cascades.

Neutral pions decay into two high-energy photons, known as gamma rays. The electromagnetic cascade begins when a gamma ray interacts with the strong electric field of an atomic nucleus. Despite having no electric charge, the electromagnetic nature of the gamma ray allows it to produce an electron-positron pair in a process known as pair production. This process requires over 1 MeV of energy, as dictated by the masses of the electron and positron (Figure 2). Gamma rays, however, typically carry thousands of MeV of energy, making them well suited for this phenomenon. Once formed, the fast-moving electron and positron can interact with other nuclei, experiencing intense acceleration due to the positive charge of protons. Accelerated charged particles emit electromagnetic radiation, producing additional gamma rays capable of generating new electron-positron pairs. This initiates a chain reaction, with the original gamma ray's energy eventually manifesting numerous particles through repeated cycles of pair production and gamma ray emission (Figure 3).

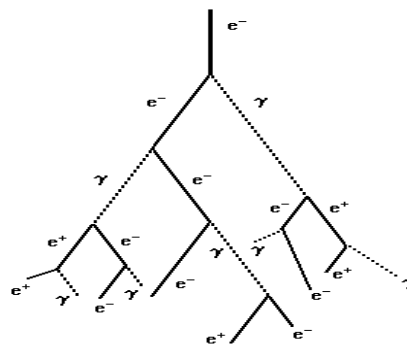


Fig. 3. The creation of the electron-positron pair [1]

The cascade slows down when the energy of the electrons and positrons drops below the threshold required generating additional gamma rays. This energy threshold, known as critical energy ( $E_c$ ), typically ranges from 5 MeV to 30 MeV for most metals [4].

$$E_c = (800\text{MeV}) / (Z + 1, 2), \text{ where } Z \text{ is an atomic number.}$$

If cosmic radiation consisted of mono-energetic electrons, the number of particles in the resulting cascade would grow exponentially until reaching a maximum absorber thickness, after which it would gradually decrease to zero.

Muons are sometimes referred to as "hard cosmic rays" due to their high penetrating power, enabling them to travel through thick layers of material, such as lead. In contrast, "soft cosmic rays" consist primarily of electrons and other less-penetrating particles, which are easily absorbed by matter. The distinction between

hard and soft cosmic rays lies in their differing energies and particle types, which directly influence their ability to penetrate materials.

The precise angular dependency will depend on e.g. the momentum spectrum of the muons at their creation in the upper atmosphere. It is possible under certain assumptions to show that the intensity at the zenith angle  $\theta$  is approximately proportional to  $\cos^2(\theta)$ . This dependency could be more "broad-shouldered" (approx. 30% higher values at  $45^\circ$ ) and in this case, the exponent on the cosine factor is not necessarily exactly 2 – often a slightly higher value (like 2.16) is seen.

*Experiment.* The Cosmic Ray Cascades apparatus demonstrates the interaction of cosmic rays with matter, producing a shower of secondary particles [1].

The experiment employed a PASCO Muon Observatory consisting of three Geiger–Müller (GM) tubes, a coincidence module, and data acquisition software. Measurements were conducted in two configurations: Shower Mode and Telescope Mode [1, 2].

In Shower Mode (Figure 4), the GM tubes were arranged in a triangular geometry to ensure that only secondary particle cascades could produce triple coincidences. Steel absorber plates were placed above the detectors to enhance cascade production. Measurements were conducted over  $\sim 20$ -hour intervals for each absorber thickness to determine the optimal configuration.



Fig. 4. Shower mode setup [12]

For the Shower Mode configuration, the muon observatory was aligned vertically, with the absorber plates positioned horizontally. The GM tubes were placed in a special holder with 6–7 cm from the nearest absorber plate. The tubes were connected to the coincidence box, which in turn was linked to a computer running the appropriate software (Figure 5) [2].

In Telescope Mode (Figure 6), the GM tubes were aligned collinearly to measure the angular dependence of muon flux. The zenith angle was varied in  $10^\circ$  increments, and data were collected along both the north–south and east–west directions. Based on earlier optimization, eleven steel plates (total thickness 33.74 mm) were used for extended environmental measurements.

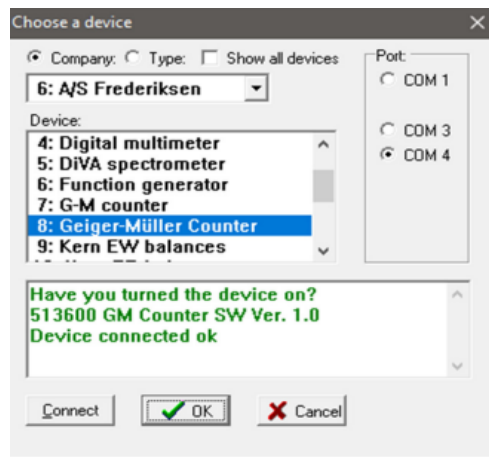


Fig. 5. Software setup [2]

To test the equipment, each slide switch on the coincidence box was enabled one at a time, ensuring that LED flashes were generated for each active switch. The absorber steel plates were then removed, and data collection began once the "Datalyse" software was properly installed and connected.

Starting with air, additional absorber plates were placed over the GM tubes, and the coincidence counting rates for all three tubes were recorded. As the thickness of the material increased, so did the number of particle cascade detections. Once the counts peaked, multiple plates were added simultaneously while still measuring the total thickness. The thickness at the peak corresponds to the range of the particles in the shower. Measurement periods were approximately 20 hours.

Ideal conditions for this experiment involve performing it indoors in a one-story building with a thin roof. Although the experiment can be conducted in other environments, such as multi-story buildings with different ceilings or roofs, results may vary. Factors like temperature, barometric pressure, altitude, and time of day can also influence cosmic particle cascade counts. While these variables could be explored in future experiments, they were not considered in this study.

A potential concern is the possibility of the three Geiger tubes being triggered simultaneously by three particles not originating from a cascade (random coincidence  $r_R$ ). However, Peter Dunne of Preston College in Lancashire, UK calculated the probability of such an occurrence to be  $5 \times 10^{-7}$  per hour of operation. This indicates that accidental detections are highly unlikely and should not be a significant concern [1].

$$r_R = K \cdot r_A \cdot r_B \cdot r_C \cdot \tau^2,$$

where  $r_A$ ,  $r_B$  and  $r_C$  are the count rates for the three inputs,  $\tau$  is the pulse width (10<sup>-6</sup> s), and  $K$  is a constant in the order of magnitude 1 (that depends on experimental details). With count rates for the individual inputs in the order of 0.5 s<sup>-1</sup>, a random coincidence will happen once every 10<sup>5</sup> years.

The intensity of muons at the Earth's surface depends on the zenith angle  $\theta$ . Under simplifying assumptions, the muon intensity is approximately proportional to  $\cos^n(\theta)$ , with  $n \approx 2-2.2$  depending on the muon energy spectrum and atmospheric conditions. This angular dependence arises from the increased path length through the atmosphere for inclined trajectories, which enhances decay and interaction probabilities.

In the second part of our experiment, we explored the angular dependence of muon incidence by positioning the three GM tubes in Telescope Mode (Figure 6). The students adjusted the Zenith angle of the apparatus to identify the angles that would produce the highest number of cascade events. Measurements were taken over several weeks, varying the angle from 0 to 180 degrees in 10-degree increments. Data was recorded along both the North-South and East-West directions. The experiment utilized 11 steel plates, which had been determined in the first part of the experiment to be the optimal quantity for detecting cascade events. The combined thickness of the 11 plates was 33.74 mm. Most muons were detected when the telescope was oriented vertically, while virtually no coincidences were recorded when it was horizontal. Muons may interact with air molecules on their way through the atmosphere and can decay into primarily electrons, positrons, and neutrinos. The muon flux was found to be proportional to  $\cos^2(\theta)$ , where  $\theta$  is the angle from the vertical. The GM tubes are positioned perpendicular to the unit's axis, and the distance between the two tubes furthest apart defines the angular resolution. For counting rates, achieving highly precise angles is not necessary.



Fig. 6. Telescope mode setup [12]

The uncertainty on the zenith angle  $\Delta\theta$  is given by the formula:  $\Delta\theta = \arctan(D/L)$ ,

where  $D$  is the effective diameter of the Geiger tube (28.6 mm), and  $L$  is the distance between the two outermost Geiger tubes.

Plot the count rates on the y-axis and the zenith angle  $\theta$  on the x-axis with vertical line segments to represent the uncertainty in the count rates. Add horizontal line segments to represent the uncertainty in the zenith angle.

Count Rate as function of zenith angle  $\theta$  is approximately proportional to  $\cos^2(\theta)$ .

$R(\theta) = K \cdot \cos^2(\theta)$ , where  $R(\theta)$  is a count rate,  $\theta$  – zenith angle,  $K$  is a constant that will be determined by fitting the data near zero.

*Experimental results.* In this experiment, we investigated how varying the thickness of the steel plating above the Geiger tubes affected the number of cosmic ray cascades detected. The relationship between the number of steel plates and the number of cascades detected was not expected to be linear. As discussed earlier, cascades are initiated when a gamma ray passes close to an atom's nucleus. By adding steel plating above the detectors, we provided more nuclei for the gamma rays to interact with,

thereby increasing the number of cascade detections. However, if the steel plating became too thick, the electrons and positrons produced in the cascades would lose energy, eventually reaching the critical energy level, at which point the cascade would end before it could reach the Geiger tubes. This experiment aimed to identify the optimal plate thickness that produced the highest number of cascade detections.

The summarized results of cosmic ray cascade count as a function of plate thickness are presented in Figures 7 and 8.

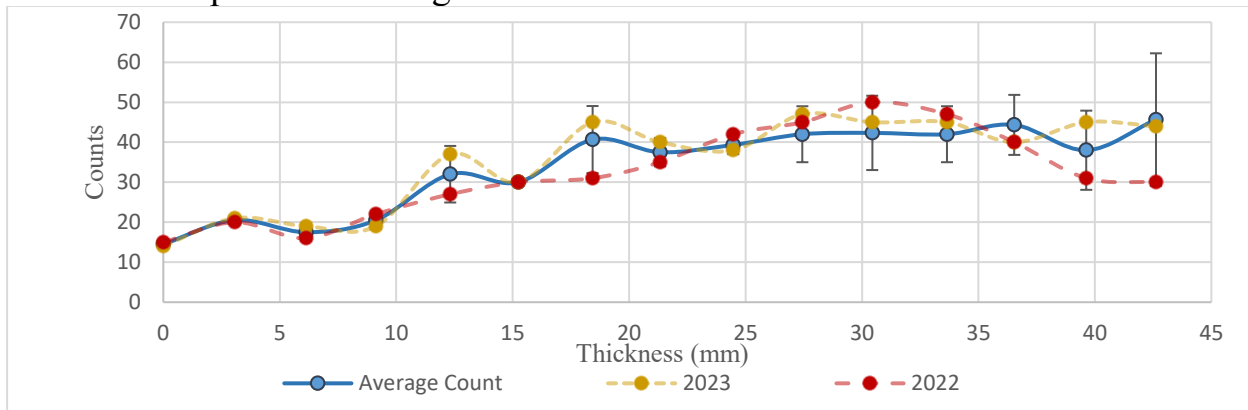


Fig. 7. “Box and Whisker” graphs of muon events count vs. plate thickness.

The graph above shows the collected muon data from 2022 and 2023, along with an average line representing the data trends. A "muon event" refers to the simultaneous detection of a muon in all three Geiger-Müller tubes. These events are also referred to as “counts.” The red line represents the data collected in 2022, while the gold dashed line corresponds to the data from 2023. The blue line indicates the meaning of all collected data (including reruns of certain 2023 experiments), with whiskers denoting the standard deviation based on the sample size.

“Box and Whisker” plots are a useful graphical tool for displaying the variation within a data set. Unlike histograms, they provide additional insights into data distribution, including locality, spread, and skewness, all within the same graph. The top and bottom of the whiskers represent the extreme data points [3].

Cosmic Ray Cascade Count vs. Thickness of Plates (cm)

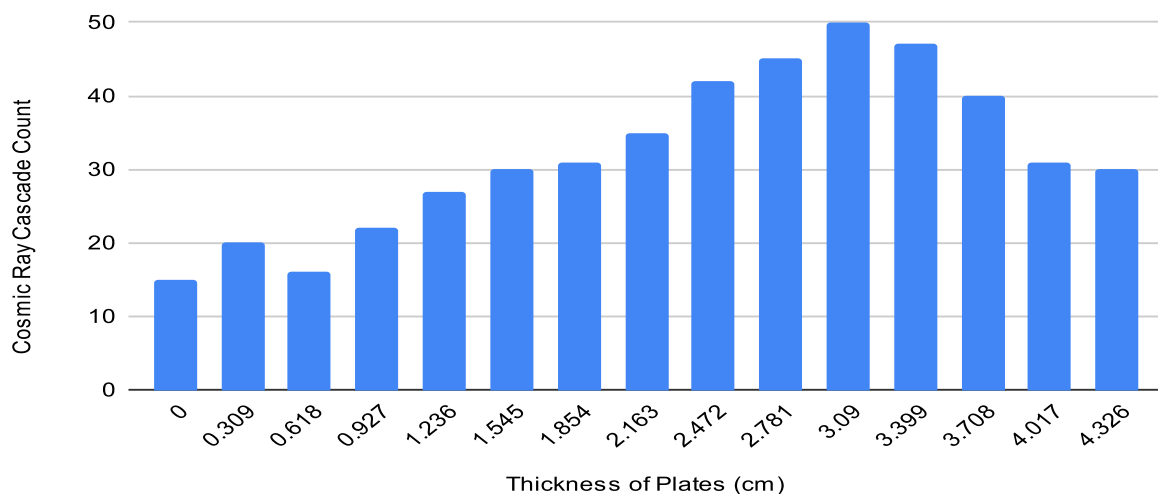


Fig. 8. Simplified histogram of muon event counts versus plate thickness.

As shown in Figure 8, the experimental results align closely with the theoretical predictions made by B.B. Rossi [4], who conducted two landmark experiments that significantly advanced the understanding of cosmic rays. Both experiments involved triple coincidences of pulses from three Geiger counters. In the first experiment, the counters were aligned and separated by blocks of lead, while in the second, the counters were arranged in a triangular configuration, ensuring that no single particle could traverse all three counters in a straight line.

The results from the first configuration demonstrated the existence of cosmic-ray particles capable of penetrating up to 1 meter of lead [9]. In the second experiment, with the counters enclosed in a lead box, it was observed that some cosmic rays interact with lead to produce multiple secondary particles. As an extension of this setup, Rossi measured the rate of triple coincidences as a function of the amount of lead above the counters. The plot of this rate against thickness, which became known as the Rossi curve, revealed a rapid increase in coincidence events with increasing lead thickness, followed by a gradual decline [10, 16]. These findings confirmed, as we discussed earlier, that ground-level cosmic rays consist of two components: a "soft" component, capable of generating multiple particle events, and a "hard" component, capable of penetrating great thicknesses of lead.

In our case, the counting rate increased exponentially as the thickness of the absorber material increased. The rate reached its peak at approximately 3.09 cm of steel plating before gradually decreasing.

In the second part of our experiment, we investigated the angular dependence of muon incidence. The results of this experiment are shown in Figure 10. The measured angular distribution of muons was well described by a  $\cos^2(\theta)$  dependence. Maximum count rates were observed near the vertical orientation, with negligible rates near the horizontal configuration. These results align with established measurements of atmospheric muon flux.

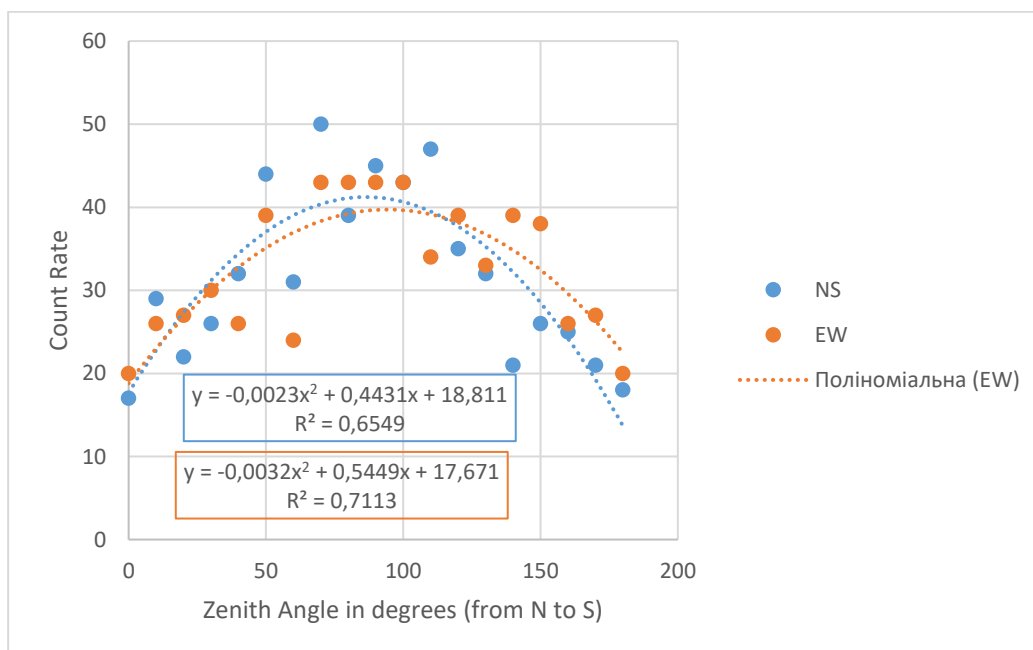


Fig. 9. The Count Rates vs. Zenith Angle ( $\theta$ )

The students concluded that the optimal angle for detecting cascade events was 70 degrees from the northern horizon and between 70 to 100 degrees from the eastern horizon.

The final set of measurements was conducted using a fixed optimal geometry over an extended period. A negative correlation was observed between the count rate and barometric pressure (Figure 10) and positive correlation was observed between the count rate and atmospheric temperature (Figure 11).

A clear negative correlation was observed between muon count rate and barometric pressure. This relationship can be expressed using the barometric coefficient  $\beta$ :  $\Delta N / N = -\beta \Delta P$ , where  $\beta$  is typically on the order of 0.1–0.2% per hPa for ground-level muons. The measured values in this experiment fall within this expected range.

Atmospheric pressure and temperature influence muon flux through changes in atmospheric density and scale height. Increased pressure corresponds to a denser atmospheric column, increasing the probability of muon decay and energy loss before reaching the detector. Conversely, higher atmospheric temperatures cause the atmosphere to expand, shifting meson production to higher altitudes where decay into muons is more likely than interaction, resulting in increased muon flux at ground level [14, 15].

Atmospheric pressure and temperature data were obtained from local meteorological records and synchronized with muon count measurements.

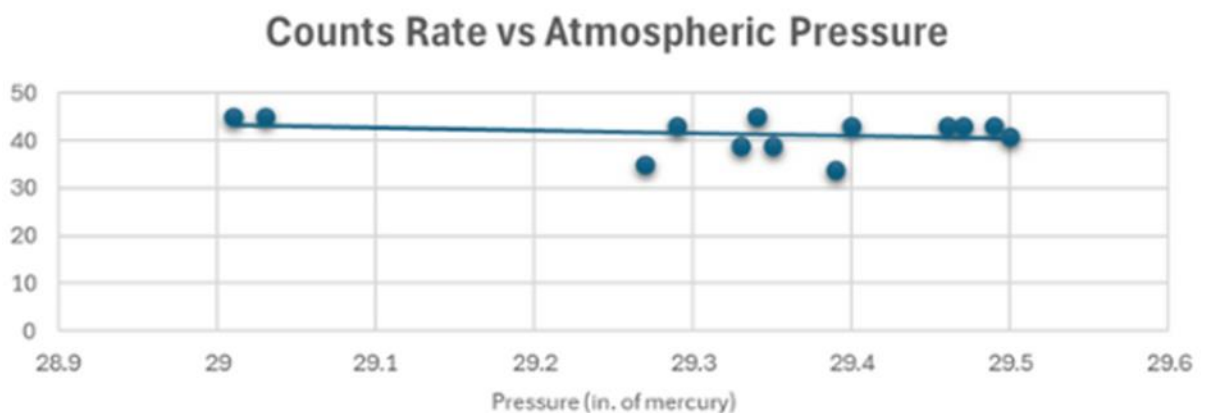


Fig. 10. Dependence on Atmospheric Pressure

As atmospheric pressure increases, the muon count rate decreases. Higher pressure means a denser and thicker atmosphere, which increases the probability of muon decay before reaching ground level and enhances the chance of muon interactions (e.g., scattering or absorption) with atmospheric particles.

This effect is often quantified using the barometric coefficient:  $\Delta N/N = -\beta \cdot \Delta P$ ,

Where  $N$  is the muon count rate,  $\Delta P$  is the change in atmospheric pressure;  $\beta$  is the barometric coefficient (typically  $\sim 0.1$ – $0.2\%$  per hPa for ground-level muons).

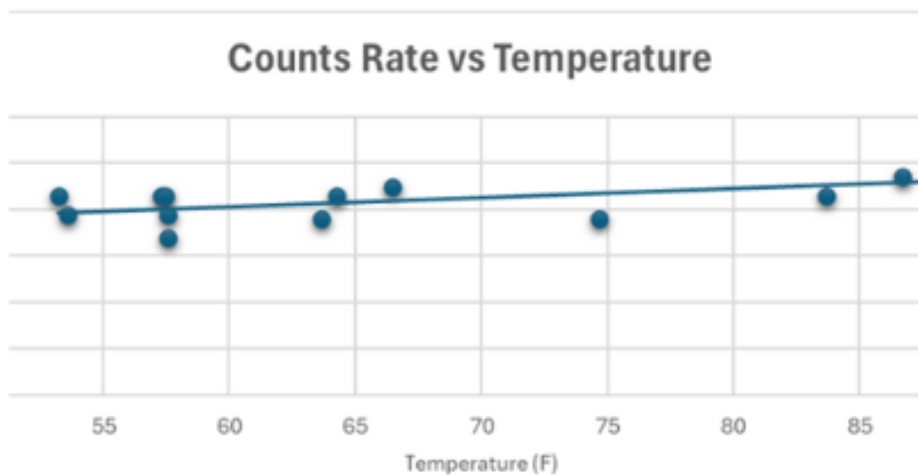


Fig. 11. Dependence on Atmospheric Temperature

Higher temperatures cause the atmosphere to expand, raising the altitude at which cosmic ray interactions produce pions and kaons. This results in more mesons decaying into muons rather than interacting, since the air is less dense at higher altitudes. Consequently, more muons reach ground level, increasing the count rate.

This is described by the temperature coefficient:  $\Delta N/N = \alpha_T \cdot \Delta T/T$ ,

Where:  $\alpha_T$  is the temperature coefficient (typically  $\sim 0.1-0.3$  for muons, depending on energy and zenith angle),  $T$  is the effective temperature of the atmosphere (a weighted average over altitude, not ground level temperature).

*Conclusion.* Pasco Muon Observatory Apparatus has an exceptional educational value:

1. Demonstrates the existence and behavior of cosmic rays.
2. Allow students to study the concept of particle detection and coincidence circuits.
3. Provides hands-on experience with fundamental particle physics concepts.

This experiment demonstrates that sophisticated concepts from particle and atmospheric physics can be successfully incorporated into undergraduate engineering laboratories. Students engage with authentic data, long-term measurements, statistical analysis, and theoretical modeling, fostering deeper conceptual understanding and research skills aligned with ASEE educational objectives.

The investigation confirms that ground-level muon flux is significantly modulated by atmospheric pressure and temperature. The observed anti correlation with pressure and positive correlation with temperature are consistent with established cosmic ray physics. Beyond its scientific outcomes, the experiment provides a robust, adaptable platform for experiential learning in engineering and physics education.

### References

- [1] P. Dunne, "Demonstrating Cosmic Ray Induced Electromagnetic Cascades in the A-Level Laboratory," *Phys. Educ.*, vol. 34, p. 19, 1999.
- [2] Frederiksen Scientific, "The Interaction Between Cosmic Rays and Matter," [Online]. Available: <https://www.frederiksen-scientific.dk>. [Accessed: Jan. 18, 2017].
- [3] R. Boddy, *Statistical Methods in Practice: For Scientists and Technologists*, John Wiley & Sons, 2009, ISBN 978-0-470-74664-6.

- [4] Wikipedia, “Bruno B. Rossi,” [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Bruno\\_Rossi](http://en.wikipedia.org/wiki/Bruno_Rossi). [Accessed: Feb. 21, 2025].
- [5] P. Navitski and E. Gregg, “Physics teaching at Oral Roberts University during the pandemic time,” in *Proc. of the VII International Scientific Conference "Digital Education at Environmental Universities—Dnipro: Serednyak TK*, 2021, pp. 20–21.
- [6] A. Jensen, G. Pollard, P. Navitski, and E. Gregg, “A lens case student’s research of Michelson interferometer during the course of Modern Physics at the Oral Roberts University,” in *V International Scientific and Practical Conference "Automotive Transport and Infrastructure"*, National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine, Kyiv, Sep. 21–23, 2022, pp. 192–195.
- [7] W. D. Klehm, P. Navitski, and J. M. Swan, “Board 182: Using of Esque Box for STEM Education of Pre-college Student,” in *2023 ASEE Annual Conference & Exposition*, Baltimore, MD, 2023.
- [8] P. Navitski, E. Gregg, R. Leland, V. Taustyka, and A. Gawlik, “Engineering teaching approaches at the time of COVID,” in *ASEE 2022 Midwest Section Conference*, Tulsa, OK, USA, 2022.
- [9] B. Rossi, “Absorptionmessungen der durchdringenden korpuskularstrahlung in einem meter blei,” *Naturwissenschaften*, vol. 20, no. 4, 1932.
- [10] B. Rossi, “Uber die eigenschaften der durchdringenden korpuskularstrahlung in Meeresniveau,” *Zeitschrift für Physik*, vol. 82, no. 3–4, pp. 151–178, Mar. 1, 1933.
- [11] R. C. Haymes, “The Zenith Angle Variations of Cosmic Ray Mu-Meson Intensity,” College of Engineering Research Division, University Heights, New York, NY, 1954.
- [12] PASCO Scientific, *Manual for Muon Observatory*, 3.01.2011.
- [13] Wikipedia, “Standard Model,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_Model](https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_Model). [Accessed: Feb. 21, 2025].
- [14] M. Nagashima et al., “*Atmospheric effects on cosmic-ray muons*,” *Il Nuovo Cimento C*. 1986
- [15] T. K. Gaisser, *Cosmic Rays and Particle Physics*, Cambridge University Press.
- [16] Gregg Elena, Ph.D., Pavel Navitski, Ph.D., Klehm Wesley, Pendell Gabriel, Graceson Pollard, Jensen Andrew “Cosmic Ray Cascades: Exploring High-Energy Cosmic Particles” (*VII International Scientific and Practical Conference "Road Transport and Infrastructure"*, Kiev, Ukraine, April 18-20, 2024).

УДК: 656.07:628.4:504

## **ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СПГ-АВТОБУСІВ У ПОРІВНЯННІ З ДИЗЕЛЬНИМИ**

**Бондарєв Сергій Іванович**, к.т.н., доцент,  
**Кульбачний Іван Олексійович**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
e-mail: kulbachnyiivan@gmail.com

У транспортному секторі автомобільний транспорт є одним із основних джерел викидів CO<sub>2</sub>, що становить значну частку глобальних викидів

парникових газів. Зменшення негативного впливу транспорту на довкілля можливе за рахунок використання альтернативних видів палива, зокрема стисненого природного газу (СПГ). У роботі досліджено ефективність застосування СПГ-автобусів у міжміських перевезеннях у порівнянні з традиційними дизельними автобусами, які домінують у багатьох країнах на основі відомих досліджень.

Метою дослідження є оцінка викидів CO<sub>2</sub> та відповідних зовнішніх витрат при експлуатації автобусів різних типів. Аналіз проведено для трьох техніко-технологічних варіантів СПГ-автобусів і двох типів дизельних автобусів за чотирма варіантами розвитку транспортної мережі: базовим (2016 року), поточним (2025 року), оптимістичним (2035 року) [1-5].

За результатами проведеного аналітичного дослідження, встановлено, що автомобільний транспорт формує до 75% викидів CO<sub>2</sub> у транспортному секторі, а сам сектор становить близько 23% глобальних викидів [1, 3]. Теоретично доведено, що при згорянні 1 кг палива утворюється ≈3,7 кг CO<sub>2</sub> [2, 3]. Основна мета дослідження — кількісна оцінка викидів CO<sub>2</sub> та зовнішніх витрат при використанні СПГ-автобусів у порівнянні з дизельними в міжміських перевезеннях.

Запропоновано комплексну модель, яка включає:  
розрахунок витрат палива,

$$Q_{СПГ_i} = \left( \left( 365 \cdot N_{сер.доб.} \cdot \frac{q_{м.диз}}{100} \cdot L \cdot q_t \cdot n_{пгт} \right)_i \right)_j \quad (1)$$

де  $Q_{СПГ_i}$  – річне споживання стисненого природного газу (СПГ) на  $i$ -тій ділянці дороги у варіанті  $j$ , м<sup>3</sup>/рік;

$j$  – індекс варіантів розвитку транспортної мережі (базовий, поточний, оптимістичний);

$i$  – індекс ділянки дороги (всього  $n=302$ );

365 – кількість днів у році;

$N_{сер.доб.}$  – середньорічна добова інтенсивність руху автобусів, авт./доба;

$q_{м.диз}$  – витрата дизельного палива автобусом у вільному потоці руху, л/100 км;

$L$  – довжина ділянки дороги, км;

$q_t$  – коригуючий коефіцієнт витрати палива, який враховує вплив умов руху (затори, швидкість, інтенсивність);

$n_{пгт}$  – коефіцієнт паливного еквівалента (переводить витрати дизеля у витрати СПГ);

Коефіцієнти викидів: для СПГ коливається в межах 2157–2403 г/м<sup>3</sup>, для дизеля - 2603–2917 г/л. Вартість викидів може бути до 55 євро/тонна CO<sub>2</sub> (до 2030 року) [2, 3, 5].

За результати по транспортному попиту встановлено, що обсяг перевезень може зрости з 7974 млн пасажиро-кілометрів (2016) до 10156 млн (2025), а у 2035 році може досягнути 24753 млн. При цьому обсяг автобусних перевезень до 2025 року повільно зростає - приблизно на 21,5%, що свідчить про зміну структури попиту. Середня швидкість автобусів знизилась в середньому на 18-19 км/год [3].

У всіх варіантах СПГ-автобуси мають нижчі викиди. Наприклад, 2016 рік – СПГ - 136 тис. тонн/рік, дизель 179 тис. тонн/рік, а до 2035 року прогнозується до 235,9 тис. тонн/рік (дизель), а зниження викидів становить CO<sub>2</sub> - до 56 тис. тонн/рік. Отримані показники зовнішніх річних витрат CO<sub>2</sub> в 2016 - 2,59...3,39 млн євро і прогнозується у 2035 до 12,97 млн євро. Економія від СПГ-автобусів становитиме – 12...24%. А питомі витрати автобусів від 1,0 євро/100 км у 2016 році до 4,19 у 2035 [4, 5].

Стосовно впливу умов руху встановлено, що підвищення швидкості (в межах 90...100 км/год, збільшує витрати палива.

Отже, СПГ-автобуси є ефективнішими за дизельні з точки зору CO<sub>2</sub>. Найкращий варіант на наш погляд без систем доочищення. Водночас інфраструктурні покращення можуть підвищувати витрати через зростання швидкості. Це потребує комплексного підходу до планування транспортних систем.

УДК 656.13:005.332.1:502.131.1

## **ВПЛИВ ESG-КРИТЕРІЇВ НА ОПЕРАЦІЙНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

**Докієнко Лариса Миколаївна**, к.е.н., доцент

*Національний університет «Київський авіаційний інститут»*

[larysa.dokiienko@npp.kai.edu.ua](mailto:larysa.dokiienko@npp.kai.edu.ua)

Трансформація автотранспортного сектору під впливом ESG-критеріїв зумовлена необхідністю досягнення цілей Паризької кліматичної угоди та Європейського зеленого курсу, а впровадження принципів екологічного, соціального та корпоративного управління (ESG) стає не лише вимогою регуляторів, але й критичним фактором виживання. Автотранспортний сектор традиційно асоціюється з високим рівнем викидів парникових газів, інтенсивною експлуатацією трудових ресурсів та складними схемами управління, що робить його ідеальним об'єктом для аналізу впливу нефінансових критеріїв на операційну ефективність. Актуальність посилюється військовими викликами в Україні, що вимагають створення автономної, енергоефективної та соціально адаптованої транспортної системи, здатної інтегруватися в європейський простір. Відповідно, автотранспортна галузь стикається з унікальним набором викликів: необхідністю декарбонізації автопарку, забезпеченням безпеки дорожнього руху та прозорістю ланцюгів постачання.

Операційна ефективність автотранспортних підприємств у межах ESG-парадигми реалізується через три вектори:

1. Екологічний вектор (E), який є найбільш обговорюваним та витратним для автотранспортних підприємств, адже автотранспорт відповідає за значну частку світових викидів парникових газів, причому викиди від важких транспортних засобів зросли на 83% з 1990 року. Впровадження ESG не обмежується лише заміною рухомого складу, а величезний потенціал для підвищення ефективності криється в оптимізації існуючих процесів через

інструменти штучного інтелекту (AI) та Інтернету речей (IoT): AI-маршрутизація (динамічна зміна маршрутів у реальному часі дозволяє знизити споживання пального на 15-30% за рахунок уникнення заторів, оптимізації завантаження та мінімізації холостих пробігів), телематика та контроль поведінки водія (моніторинг різкого гальмування, прискорення та часу роботи двигуна на холостому ходу дозволяє скоротити витрати на паливо на 10-15% та продовжити термін служби агрегатів), предиктивне обслуговування (використання IoT-датчиків для моніторингу стану вузлів транспортного засобу дозволяє уникнути аварійних зупинок та знизити операційні витрати на 25% протягом перших 18 місяців після впровадження). Ці технологічні рішення створюють прямий зв'язок між екологічною метою (зменшення викидів) та економічною ефективністю (зниження собівартості), що робить ESG-стратегію привабливою для прагматичного менеджменту.

2. Соціальний вектор (S) в автотранспорті часто недооцінюється, хоча він безпосередньо впливає на стабільність операцій. Вітчизняна автотранспортна галузь стикається з гострим дефіцитом кваліфікованих водіїв, і умови праці стають головним чинником у конкуренції за кадри. Стабільність кадрів та безпека руху є критичними для зниження операційних витрат, адже плинність кадрів понад 5% створює ризики, які нівелюють переваги від нових технологій. Системи телематики, соціальні гарантії, програми ментального здоров'я, навчання і утримання персоналу, забезпечення гідних умов відпочинку є основними операційними важелями даного вектору. Стабільний та мотивований персонал забезпечує вищу надійність перевезень, меншу кількість затримок та кращу репутацію серед клієнтів. Окремий аспект соціального компоненту – реінтеграція ветеранів – є унікальним викликом для українського ринку праці в транспорті.

3. Компонент корпоративного управління (G) забезпечує структуру, за допомогою якої екологічні та соціальні цілі стають частиною щоденної діяльності, та включає антикорупційні заходи, етичні стандарти управління та якість, прозорість нефінансової звітності. В ЄС впроваджено низку директив, що стають обов'язковими для великих компаній і поступово поширюються на весь ланцюг постачання: CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) розширює коло компаній, зобов'язаних звітувати про сталий розвиток, вимагаючи відповідності стандартам ESRS; EU Taxonomy класифікує економічну діяльність за її внеском у кліматичні цілі і для автотранспорту це означає, що тільки інвестиції в певні типи рухомого складу вважатимуться «зеленими»; CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism) хоча безпосередньо стосується імпорту товарів, але опосередковано впливає на логістику, стимулюючи перевізників звітувати про вуглецевий слід кожної доставки. Таким чином, якість управління в автотранспортному підприємстві вимірюється здатністю інтегрувати ці вимоги в систему ризик-менеджменту і наявність незалежних аудитів ESG-даних та прив'язка винагороди топ-менеджменту до показників сталого розвитку є індикаторами зрілості корпоративного управління.

Відповідно, операційна ефективність автотранспортного підприємства у контексті ESG визначається не лише мінімізацією витрат, а й здатністю адаптуватися до змінних регуляторних вимог, залучати талановитих фахівців та мінімізувати вартість капіталу. Для ефективного впровадження ESG-стратегії необхідно відійти від загальних декларацій до конкретних метрик: питоми викиди CO<sub>2</sub> на тонно-кілометр з метою їх зменшення на 55% до 2030 року; енергоефективність автопарку (розрахунок кВт-год або літрів на 100 км пробігу) з метою зниження витрат на енергію через використання AI; плинність кадрів – утримання показника нижче 5%; частота інцидентів (кількість травм на 200 тис. год) з метою зниження страхових витрат та простоїв автотранспорту; частка «зелених» активів задля доступу до фінансування IFI; рівень оцифрування даних для зменшення витрат на аудит та комплаєнс.

Для українського автотранспорту впровадження ESG-критеріїв набуває особливого значення в умовах повномасштабної війни та курсу на членство в ЄС. Гармонізація зі стандартами сталого розвитку є не лише умовою інтеграції в європейський ринок, а й інструментом залучення коштів для відновлення. Міжнародні банки виступають головними каталізаторами «зеленого» переходу в Україні, наприклад, у 2025 році обсяг фінансування України від ЄБРР досяг рекордних 2,9 млрд євро, причому 57% інвестицій було спрямовано в приватний сектор, а пріоритетними були проекти з «озеленення» логістичних ланцюгів та підтримка муніципального електротранспорту; ЄІВ виділив понад 74 млн євро на критичну інфраструктуру, включаючи енергоефективну модернізацію. Міністерство економіки України наголошує на необхідності поетапного впровадження стандартів звітності CSRD/ESRS для вітчизняного бізнесу і для перевізників це означає необхідність інвестувати в системи цифрового обліку викидів уже сьогодні, щоб відповідати вимогам європейських контрагентів. Виклики, такі як енергетичний дефіцит, змушують автотранспортні підприємства шукати гібридні рішення, включаючи використання біопалива як перехідного етапу перед повною електрифікацією.

Отже, вплив ESG-критеріїв на операційну ефективність автотранспортних підприємств є комплексним та багатограним. У короткостроковій перспективі впровадження екологічних та соціальних стандартів може призводити до зростання витрат та фінансових ризиків, проте в довгостроковому періоді ESG діє як потужний механізм оптимізації, що дозволяє знизити вартість капіталу, покращити репутацію та забезпечити стійкість до волатильності ринку енергоносіїв. Для України шлях ESG є безальтернативним, а в умовах обмежених внутрішніх ресурсів доступ до міжнародного фінансування від ЄБРР та інших інституцій відкритий лише для тих компаній, які демонструють прозорість, відповідальність та готовність до декарбонізації. Таким чином, ESG стає не просто модним трендом, а фундаментом для побудови сучасної, ефективної та конкурентоспроможної транспортної системи.

### **Література**

1. ESG в Україні: як гармонізувати європейські стандарти сталого розвитку. Асоціація відкритих даних, 2026. URL: <https://bit.ly/4bpxiCq>
2. Dokiienko L. Strategic guidelines for the financial and economic

transformation of transport enterprises in the context of sustainable development. Planning and ensuring sustainable development of socio-economic systems. Poznan, 2025, WSHIU University of Applied Sciences, Part 1, 62-63. URL: <https://bit.ly/3NGI0fU>

3. Jażdżik-Osmólska et.al. Economic impact of road accidents on costs of employee turnover: a quantitative study from Poland. Archives of transport, 2024, Volume 72, Issue 4, 151-165. <https://doi.org/10.61089/aot2024.tvnay379>

4. McGunagle D. et al. The journey toward sustainability: positive impact of environmental, social, and governance index on transportation. Journal of marketing analytic, 2025. <https://doi.org/10.1057/s41270-024-00368-1>

5. Usmanova M.N. et al. The impact of driver turnover on traffic safety. E3S Web of Conferences 549, 2024, 06011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454906011>

УДК 656.025.4:364.4

## **ФОРМУВАННЯ ДОСТУПНОГО СЕРЕДОВИЩА У СИСТЕМАХ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ОСІБ З ІНВАЛІДНІСТЮ**

**Загурська Світлана Миколаївна**, к. філос. наук  
КНЗ КОР «Київський обласний інститут  
післядипломної освіти педагогічних кадрів»  
e-mail: zagurskasm@ukr.net

Незважаючи на зростання глобальних зусиль щодо вдосконалення інфраструктури громадського транспорту, між задекларованою політикою та практичною реалізацією все ще існує помітний розрив. Результати численних досліджень свідчать, що обмежений доступ до громадського транспорту й надалі залишається суттєвою перешкодою для соціальної інтеграції людей з інвалідністю. Комплексне розуміння доступності повинно охоплювати не лише конструктивні особливості транспортних засобів, але й увесь процес здійснення поїздки – від планування маршруту та орієнтації в транспортній системі до посадки, переміщення всередині транспортного засобу та висадки. Усі елементи цього процесу є взаємопов'язаними, тому порушення функціонування будь-якої з його ланок може унеможливити здійснення поїздки в цілому.

Для подолання зазначених проблем значна увага приділяється концепції універсального дизайну. Інтеграція принципів доступності ще на етапі проектування має важливі переваги, оскільки створює сприятливі умови для широкого кола користувачів, включаючи людей похилого віку, батьків із дитячими візками, туристів, які не знайомі з транспортною системою, а також осіб з інвалідністю [2].

Концепція доступності громадського транспорту виходить далеко за межі лише фізичної доступності. Вона являє собою комплексне поняття, що поєднує інфраструктуру, проектування транспортних послуг та інформаційні системи з метою забезпечення рівного доступу до мобільності для всіх категорій населення. У випадку, коли громадський транспорт проектується з урахуванням

принципів інклюзивності, люди з інвалідністю отримують можливість самостійно та безперешкодно досягати пунктів призначення [4].

Міське середовище відіграє важливу роль у формуванні доступності систем громадського транспорту. Особливе значення має мережа пішохідної інфраструктури, яка забезпечує зв'язок між житловими районами та зупинками або станціями громадського транспорту, формуючи таким чином початкову та завершальну ланки транспортної поїздки. У випадках, коли тротуари пошкоджені, мають нерівну поверхню або не обладнані пандусами, люди з обмеженою мобільністю стикаються зі значними труднощами під час підходу до зупинки чи її залишення, що ускладнює завершення поїздки.

Розташування станцій громадського транспорту також істотно впливає на рівень доступності. Якщо станції розміщені на значній відстані від житлових районів, пасажирів з обмеженими можливостями змушені долати значні та потенційно небезпечні відстані, що суттєво знижує доступність транспортних послуг [3].

Важливим елементом транспортної інфраструктури є проектування автобусних зупинок, які повинні забезпечувати оптимальний баланс між доступністю, комфортом і безпекою. Згідно з результатами досліджень проекту Easter Seals Project ACTION (2006), проектування зупинок має передбачати можливість доступу для користувачів інвалідних візків, наявність достатнього простору під навісом, місць для сидіння, належної видимості, а також чіткої інформації про маршрути та розклад руху.

Фізичні бар'єри, такі як високі бордюри, відсутність пандусів або значна різниця висоти між рівнем платформи та підлогою транспортного засобу, створюють додаткові труднощі під час посадки пасажирів з обмеженою мобільністю. Значною проблемою також є зазор між бордюром і входом до транспортного засобу, який особливо ускладнює посадку для користувачів інвалідних візків та людей, що користуються допоміжними засобами пересування. У таких випадках встановлення пандусів або підвищених посадкових платформ розглядається як ефективний засіб забезпечення безпечного подолання різниці висот.

Крім того, внутрішнє планування багатьох транспортних засобів досі характеризується недостатньою кількістю простору для маневрування інвалідних візків, що знижує комфорт користування транспортом та обмежує можливості самостійного пересування пасажирів всередині транспортного засобу [1].

Важливим фактором забезпечення самостійності пасажирів під час користування громадським транспортом є доступ до точної та достовірної інформації. Проте люди з інвалідністю нерідко стикаються з інформаційними бар'єрами, які ускладнюють планування поїздок або досягнення пункту призначення. У випадках, коли транспортна інформація є нечіткою або важкодоступною, користувачі можуть відчувати невпевненість або тривогу щодо поїздки, що нерідко призводить до відмови від використання громадського транспорту.

З метою полегшення користування транспортною системою транспортні оператори повинні надавати інформацію у формах, доступних для різних категорій користувачів. Це може включати друковані розклади руху, телефонні довідкові служби, веб-сайти, а також мобільні додатки для смартфонів. Як зазначає Норман (2007), доступ до точних розкладів, маршрутної інформації та даних у режимі реального часу щодо очікуваного часу прибуття транспорту є ключовим фактором формування позитивного користувацького досвіду. Відсутність звукових оголошень та тактильних інформаційних елементів значно ускладнює отримання інформації про поїздки для людей із порушеннями зору. Тому надання інформації одночасно у візуальному та аудіоформаті є важливим кроком до підвищення інклюзивності систем громадського транспорту.

### Література

1. Доступність та універсальний дизайн : навч.-метод. посіб./ за заг. ред. Байди Л. Ю., Красюкової-Еннс О. В. – К., 2013. – 128с.
2. Загурський О. М. Транспортна доступність сільських територій: методологічні підходи / О.М. Загурський // Збірник наукових праць «Автомобільний транспорт» 2018 – № 43 – С. 65-70.
3. Faten Salman, Balázs Horváth, László Jóna, Assessing accessibility barriers at public transport stops for people with disabilities: Study in Hungary, *European Transport Studies*, Volume 3, 2026, 100059
3. Steinfeld, Aaron, Jordana L. Maisel, and Edward Steinfeld, eds. *Accessible public transportation: designing service for riders with disabilities*. Routledge, 2017.

УДК 331.45 (075.8)

## ДОТРИМАННЯ ОСНОВНИХ ПРАЦЕОХОРОННИХ АСПЕКТІВ НА ВЕЛИКИХ ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРАХ УКРАЇНИ

**Марчишина Є. І.**, к. с.г. н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
marchyshyev@gmail.com

Дотримання законодавства з охорони праці на великих логістичних центрах є одним із ключових чинників забезпечення безпеки працівників, підвищення продуктивності праці та зниження рівня виробничого травматизму. В умовах стрімкого розвитку логістичної галузі, зростання обсягів вантажоперевезень та автоматизації складських процесів питання відповідності нормативно-правовим вимогам набуває особливої актуальності. За статистичними даними, до 35–40 % нещасних випадків у сфері складської логістики пов'язані з порушенням вимог інструкцій з охорони праці, а близько 25 % – із недостатнім рівнем навчання персоналу.

Великі логістичні центри характеризуються значною чисельністю працівників (від 200 до 2000 осіб), високою інтенсивністю вантажопотоків (до 10–15 тис. палет на добу) та використанням різноманітної техніки, зокрема навантажувачів, конвеєрних систем і автоматизованих складських комплексів. Це створює комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів, серед яких

механічні ризики становлять близько 45 %, ергономічні – 20 %, електротехнічні – 10 %, а інші (шум, пил, мікроклімат) – до 25 %. При цьому рівень травматизму у великих логістичних центрах може досягати 1,5–2,5 випадків на 100 працюючих на рік. Відповідно до чинного законодавства України, роботодавець зобов'язаний забезпечити функціонування системи управління охороною праці, яка включає ідентифікацію небезпек, оцінку ризиків, впровадження профілактичних заходів та постійний моніторинг їх ефективності. Практика показує, що впровадження ризик-орієнтованого підходу дозволяє знизити рівень виробничого травматизму на 20–30 % протягом перших двох років. Водночас лише близько 60 % логістичних підприємств повністю впровадили такі системи, що свідчить про наявність резервів для покращення.

Особливу увагу слід приділяти навчанню та інструктажам працівників. Дослідження показують, що регулярне проведення навчання з періодичністю не рідше ніж 1 раз на 6 місяців знижує ймовірність травматизму на 15–18 %. Однак на практиці до 30 % працівників не проходять повторні інструктажі у встановлені терміни. Крім того, лише 50–55 % підприємств застосовують сучасні методи навчання, такі як симуляційні тренінги або цифрові платформи.

Важливим аспектом є забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. За оцінками, використання сертифікованих засобів захисту дозволяє знизити ризик травмування на 25–40 %. Проте близько 20 % працівників не використовують їх систематично через недостатній контроль або незручність у використанні. Водночас автоматизація процесів контролю, зокрема за допомогою систем відеоспостереження та датчиків, дозволяє підвищити рівень дотримання вимог до 90–95 %.

Аналіз причин порушень законодавства свідчить, що основними факторами є недостатній контроль з боку керівництва (до 35 % випадків), низький рівень культури безпеки (25 %), економія ресурсів (20 %) та недостатня кваліфікація персоналу (20 %). Впровадження систем мотивації, включаючи матеріальне стимулювання за безпечну поведінку, дозволяє знизити кількість порушень на 10–15 %.

Таким чином, забезпечення дотримання законодавства з охорони праці на великих логістичних центрах потребує комплексного підходу, що включає вдосконалення систем управління, підвищення рівня навчання, впровадження сучасних технологій контролю та формування культури безпеки. Очікується, що реалізація зазначених заходів дозволить знизити рівень травматизму на 30–40 % у середньостроковій перспективі та підвищити ефективність діяльності підприємств.

### **Література**

1. Закон України «Про охорону праці».
2. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці.
3. Державна служба України з питань праці. Аналітичні звіти щодо виробничого травматизму, 2023–2025 рр.
4. Міжнародна організація праці. Безпека та гігієна праці у складській логістиці, 2022.

5. European Agency for Safety and Health at Work. Warehouse safety statistics and risk assessment, 2023.

6. Войналович О.В., Марчишина Є. І., Кофто Д. Г. Охорона праці у галузі (автомобільний транспорт). К. Центр учбової літератури. 2018. 695 с.

7. Войналович О.В., Єременко О.І., Марчишина Є.І., Мотрич М.М., Зубок Т.О. Охорона праці в галузі. К.: НУБіП України. 2025. 251 с.

УДК 631.372:504.06:339.9(477:4-6ЄС)

## **ВПЛИВ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАКОНОДАВСТВА ЄС НА ОНОВЛЕННЯ ПАРКУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ АГРАРНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ**

**Мельник Валентина**, к.е.н., доцент

**Лісецький Віталій**, к.т.н., доцент

**Фуренко Олександра**, студентка

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Актуальність теми зумовлена поглибленням євроінтеграційних процесів та імплементацією Україною екологічних вимог Європейського Союзу, зокрема в межах політики European Green Deal. Ця стратегія передбачає досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року та істотне скорочення викидів парникових газів у всіх секторах економіки, включаючи сільське господарство.

Аграрний сектор України, який формує значну частку експорту та ВВП, опиняється під впливом нових регуляторних вимог, що стосуються не лише продукції, а й технологій її виробництва. Водночас впровадження механізму Carbon Border Adjustment Mechanism створює ризики додаткового податкового навантаження на експорт продукції з високим вуглецевим слідом. Це актуалізує проблему модернізації парку транспортних засобів аграрного сектору.

Дієвим інструментом екологічного регулювання ЄС у сфері техніки є стандарти викидів, зокрема Stage V emissions standards, які встановлюють жорсткі обмеження на викиди оксидів азоту, твердих частинок та інших забруднювачів.

Відповідно до досліджень European Environment Agency, транспорт і мобільна техніка залишаються одним із потужних джерел викидів NO<sub>x</sub> (оксиди азоту) та PM (сажові частинки) у Європі. Для України це означає необхідність адаптації технічного парку до нових екологічних стандартів, оскільки за різними оцінками понад 60 % аграрної техніки є зношеною та не відповідає сучасним вимогам.

Таким чином, регуляторний тиск трансформується у фактор інноваційного розвитку, стимулюючи перехід до альтернативних джерел енергії та нових типів силових установок.

Одним із найбільш реалістичних напрямів оновлення технічного парку є використання біопалива. Україна має значний потенціал виробництва біометану та біодизеля завдяки розвиненому аграрному сектору та наявності сировинної бази.

Практичне впровадження таких технологій демонструє компанія New Holland Agriculture, яка розробила трактор New Holland T6 Methane Power, що працює на біометані. Подібні рішення дозволяють формувати замкнені енергетичні цикли на рівні господарств, знижуючи залежність від викопного палива та зменшуючи викиди CO<sub>2</sub>.

Згідно з оцінками International Energy Agency, використання біометану може скоротити викиди парникових газів у транспортному секторі до 80 % порівняно з традиційним дизельним паливом.

Паралельно з біопаливом розвиваються напрями електрифікації та гібридизації техніки. Гібридні силові установки забезпечують зниження споживання пального на 20–30 %, що підтверджується сучасними дослідженнями в галузі інженерії мобільних машин.

Інноваційні зразки техніки, такі як John Deere SESAM та Fendt e100 Vario, демонструють можливість повністю безвикидної роботи у польових умовах.

Попри обмеження, пов'язані з ємністю акумуляторів, електрифікація є перспективною для малих господарств, тепличного виробництва та спеціалізованих операцій. У довгостроковій перспективі вона відповідає цілям декарбонізації, визначеним у рамках європейської кліматичної політики.

Ігнорування екологічних вимог ЄС може призвести до суттєвих економічних втрат. Зокрема, за оцінками World Bank, механізми вуглецевого регулювання здатні значно впливати на конкурентоспроможність експортоорієнтованих економік.

Основними ризиками є:

- втрата доступу до ринку ЄС через зростання вартості продукції;
- технологічне відставання та залежність від застарілої техніки;
- зростання енергетичних витрат.

Водночас модернізація технічного парку відкриває доступ до фінансових інструментів ЄС, включаючи програми підтримки сталого розвитку та «зелених» інвестицій.

Екологічне законодавство ЄС виступає не лише фактором обмеження, а й катализатором структурної модернізації аграрного сектору України. Перехід до біопалива, електрифікації та гібридних технологій створює передумови для підвищення енергоефективності, зниження вуглецевого сліду та зміцнення позицій на європейському ринку.

Стратегічно доцільною є мультипаливна модель розвитку технічного парку, яка поєднує використання біометану для важкої техніки та електричних рішень для допоміжних операцій. Реалізація цього підходу потребує державної підтримки, адаптації нормативно-правової бази та активного залучення інвестицій.

### **Література**

1. European Commission. The European Green Deal. – Brussels, 2019. – 24 p.
2. European Commission. Carbon Border Adjustment Mechanism. – Brussels, 2021.
3. Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council on requirements relating to gaseous and particulate pollutant emission limits.
4. European Environment Agency. Air pollutant emissions data viewer. – 2023.
5. FAO. Ukraine: Agricultural sector review. – Rome, 2021.

6. IRENA. Bioenergy for the transition to a low-carbon future. – Abu Dhabi, 2020.
7. CNH Industrial. Methane-powered tractor concept and applications. – 2022.
8. International Energy Agency. Outlook for biogas and biomethane. – Paris, 2020.
9. Chen H.-C., Rohman Y. F., Ashlah M. B., Lin H.-T., Sean W.-Y. Electrification of agricultural machinery: one design case of a 4 kW air compressor [Electronic resource] // Energies. – 2024. – Vol. 17, iss. 15. – Art. 3647. – DOI: 10.3390/en17153647.
10. World Bank. Climate policies and border carbon adjustments. – Washington, 2022.
11. OECD. Green transition in agriculture. – Paris, 2021.

UDC 625.7:628.517

## **SENSOR-DRIVEN SMART PLANT WALL SYSTEM FOR ADAPTIVE NOISE ATTENUATION AND ENVIRONMENTAL MONITORING IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE**

**Pavel Navitski**, Ph.D., Associate Professor,  
*pnavitski@oru.edu*  
**Simeon Spiess**, student,  
**Joy Toku**, student,  
**Patrick Hernandez Gale**, student,  
**Bohdan Navitski**, student,  
Oral Roberts University, Tulsa OK, USA

*Abstract.* Modern transport infrastructure significantly impacts surrounding environments, particularly in urban areas where road noise and air pollution affect residential zones. Traditional noise barriers are widely used; however, they often lack environmental and aesthetic benefits. This paper proposes the application of smart sensor-integrated vertical plant wall systems (PlantWall) as an alternative or complementary solution for noise reduction and environmental protection along roadways.

The proposed system integrates living vegetation with engineered structural, irrigation, and sensor-based control components, forming a multifunctional barrier that contributes to noise attenuation, air quality improvement, and urban sustainability.

*Introduction.* The rapid growth of motor transport has led to increased noise pollution, especially in areas adjacent to highways and urban roads. According to environmental studies, prolonged exposure to traffic noise negatively affects human health, contributing to stress and cardiovascular risks.

Conventional noise barriers, typically constructed from concrete or metal, provide effective sound insulation but do not address environmental concerns. According to the Federal Highway Administration (FHWA), traditional barriers typically provide noise reduction in the range of 5-10 dB depending on design parameters and placement [1]. As a result, there is growing interest in integrating green infrastructure into transport systems. Vertical plant walls represent a promising solution combining engineering and biological mechanisms for improved performance.

*Concept of Smart PlantWall for Transport Infrastructure.* The PlantWall system is a modular vertical structure supporting plant growth while incorporating irrigation and environmental monitoring technologies. This concept builds upon prior interdisciplinary research in sustainable vertical systems and botanical engineering design [4–6]. The system can be adapted for installation along highways and urban roads to function as a: noise reduction barrier; air filtration system; microclimate regulator; visual enhancement.

Unlike rigid barriers, plant-based systems introduce porous and irregular surfaces that improve acoustic absorption and reduce sound reflection.

*Engineering Design and Sensor Integration.* The proposed system consists of the following components: Structural Framework what include a modular support structure designed to withstand environmental loads, including wind and vibration from traffic; Irrigation System with an automated irrigation system ensures continuous plant growth, including pumps, filtration, and distribution lines.

For the sensor-based Monitoring the system integrates environmental sensors: soil moisture sensors; temperature and humidity sensors; CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> sensors. These sensors enable real-time monitoring and adaptive system control, improving efficiency and reducing maintenance.

An embedded control system (e.g., Arduino-based) regulates irrigation based on sensor data, enabling dynamic response to environmental conditions.

*Noise Reduction Mechanisms.* The effectiveness of plant walls in noise reduction is based on several physical mechanisms: sound absorption by vegetation; diffusion due to irregular leaf geometry; reduced reflection compared to rigid barriers; damping effects of soil and substrate.

Research shows that green walls can achieve noise reduction in the range of 5-15 dB depending on plant density and configuration [2]. This performance is comparable to traditional barriers while providing additional environmental benefits.

*Environmental Impact.* In addition to noise reduction, PlantWall systems provide: air purification through CO<sub>2</sub> absorption; reduction of urban heat island effects; capture of particulate matter; improved urban aesthetics. According to the European Environment Agency, environmental noise is one of the most significant pollution sources in urban areas, and integrating sustainable solutions into infrastructure is essential for long-term mitigation [3].

*Case Study: System Development and Adaptation.* The proposed concept is based on a multi-year engineering project in which a smart plant wall system was developed with integrated sensing and automation. Previous iterations of the system have been presented in international conferences, demonstrating its evolution from a structural concept to a sensor-integrated platform [4–6]. The system evolved from a structural prototype into a sensor-driven platform capable of environmental monitoring and adaptive irrigation control.

Recent developments include integration of real-time sensors; implementation of automated control systems; optimization of irrigation strategies.

These results demonstrate the feasibility of adapting such systems for transport infrastructure applications [4,5].

*Challenges and Limitations.* Despite its advantages, the implementation of Plant Wall systems presents challenges: maintenance of living vegetation; water supply and system durability; seasonal variations. However, the integration of sensor-based monitoring and automation significantly reduces operational complexity.

*Conclusions.* The integration of smart sensor-based plant wall systems into transport infrastructure offers a promising approach to reducing noise pollution while improving environmental quality. Compared to traditional barriers, these systems provide multifunctional benefits, combining engineering efficiency with ecological sustainability. Future research should focus on large-scale implementation, optimization of plant configurations, and integration with smart city technologies.

### References

- [1] Federal Highway Administration (FHWA). Highway Traffic Noise: Analysis and Abatement Guidance. U.S. Department of Transportation, 2011.
- [2] Van Renterghem, T. Green roofs and green walls for noise reduction. *Building and Environment*, 61, 34–44, 2014.
- [3] European Environment Agency. Environmental Noise in Europe. EEA Report No. 22/2019.
- [4] Navitski, P., Budavich, R. L., Metellus, M. L., Lopez, D., & Ophus, J. V. (2025). *Engineering Sustainable Solutions: The Plant Wall Project as an Interdisciplinary Approach to Integrating Design, Botanical Science, and Educational Innovation*. ASEE Annual Conference & Exposition, Montreal, Canada. <https://doi.org/10.18260/1-2--56395>
- [5] Navitski, P., Budavich, R. L., Kinnunen, A. K., Youmans, N., Craig, T. D., & Lucy, H. M. (2024). *The Thurman Botanical Tapestry: Integrating Engineering Design, Botanical Aesthetics, Scientific Innovation, and Pedagogical Enrichment*. ASEE Annual Conference & Exposition, Portland, USA. <https://doi.org/10.18260/1-2--48142>
- [6] Navitski, P., Lucy, G., Craig, T., Kinnunen, A., Youmans, N., Lucy, H. M., Budavich, R., Ranahan, W., & Resor, S. (2024). *Innovative Design of an Automated, Modular Vertical Botanical Display with Integration of Architecture and Engineering*. 5th International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering (ICECAE 2024), Tashkent, Uzbekistan.

УДК 656.1/.5(083.742)(4+477)

## ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЩОДО БЕЗБАР'ЄРНОСТІ В ЄС ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В УКРАЇНІ

**Опалко Вікторія Григорівна**, к.т.н., доцент,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

e-mail: opalko@nubip.edu.ua

Забезпечення безбар'єрності транспортних засобів є необхідною умовою формування сучасної транспортної системи, орієнтованої на потреби різних категорій населення. У європейській практиці безбар'єрність розглядається як невід'ємна складова інклюзивної мобільності, що передбачає створення середовища без фізичних, інформаційних і функціональних перешкод для

користування транспортом особами з інвалідністю та іншими маломобільними групами населення.

У науковому та нормативному контексті безбар'єрність доцільно трактувати як стан транспортної системи та її елементів, за якого бар'єри усунено або зведено до мінімуму, що забезпечує можливість безпечного та самостійного переміщення користувачів незалежно від їхніх фізичних можливостей. Реалізація безбар'єрності відбувається через сукупність технічних, конструктивних і організаційних рішень, які визначають параметри транспортних засобів і умови їх використання.

Водночас безбар'єрність не слід ототожнювати з доступністю. Доступність транспорту є більш широкою категорією, що характеризує здатність транспортної системи забезпечувати користування послугами на всіх етапах переміщення — від отримання інформації до завершення поїздки. Безбар'єрність у цьому випадку виступає як практичний інструмент досягнення доступності, реалізований у конкретних технічних рішеннях і параметрах транспортних засобів та інфраструктури.

У європейських нормативних документах застосовується підхід “design for PRM use” (Persons with Reduced Mobility), який передбачає врахування потреб маломобільних користувачів уже на етапі проектування транспортних засобів та інфраструктури. Такий підхід означає перехід від адаптації існуючих рішень до створення транспортних систем, спочатку орієнтованих на різноманітність користувачів. Фактично він виступає практичною реалізацією принципів універсального та інклюзивного дизайну в транспортній сфері.

Технічне регулювання у Європейському Союзі базується на поєднанні нормативних актів ЄС, міжнародних правил та європейських стандартів. Для автомобільного транспорту ключове значення мають правила ЄЕК ООН, зокрема UNECE Regulation No 107 [1], які встановлюють вимоги до конструкції автобусів. У межах цього регламенту визначено параметри, що забезпечують доступність, зокрема використання низькопідлогових рішень, наявність пандусів або підйомників, облаштування місць для осіб у кріслах колісних, а також впровадження систем візуального і звукового інформування пасажирів. Важливою складовою системи регулювання є також Регламент (ЄС) 2018/858 [2], який визначає загальні підходи до типового схвалення транспортних засобів і забезпечує впровадження міжнародних технічних вимог у європейську практику.

У залізничному транспорті базовим документом є Регламент (ЄС) №1300/2014 [3], який встановлює технічні специфікації інтероперабельності щодо осіб з обмеженою мобільністю (The Technical Specifications of Interoperability relating to persons with reduced mobility, TSI PRM). Цей документ визначає вимоги до рухомого складу, включаючи доступ до поїздів, параметри дверей, організацію внутрішнього простору, наявність місць для пасажирів у кріслах колісних, а також доступність інформаційних систем і санітарних вузлів. Окрема увага приділяється забезпеченню безперешкодного переміщення пасажирів у межах транспортного засобу, що досягається через раціональне планування та ергономічні рішення.

Сучасні європейські стандарти деталізують вимоги до окремих елементів доступності. Зокрема, EN 16584-1:2025 і EN 16584-2:2025 [4, 5] конкретизують вимоги до контрастності та подання інформації для осіб з обмеженою мобільністю в залізничних системах, включаючи використання візуальних, тактильних і звукових засобів. Стандарт EN 17210:2021 [6] встановлює вимоги та рекомендації щодо проектування, будівництва, реконструкції, адаптації та обслуговування забудованого середовища, включаючи пішохідні та міські зони відповідно до принципів універсального дизайну, що сприятиме справедливому та безпечному використанню для широкого кола користувачів, включаючи людей з інвалідністю. А стандарт EN 301549:2021 [7] визначає вимоги до доступності інформаційно-комунікаційних технологій, що забезпечують функціонування сучасних транспортних сервісів.

У сфері авіаційного транспорту застосовуються стандарти ІКАО та рекомендації Європейського агентства з авіаційної безпеки, які регламентують забезпечення доступу до аеропортів та літаків, включаючи надання підйомних систем або інших пристроїв, і надання інформації у доступних форматах. У морському транспорті відповідні вимоги визначаються рекомендаціями Міжнародної морської організації.

Для України впровадження європейських технічних вимог до безбар'єрності транспортних засобів є важливим кроком у напрямі модернізації транспортної системи. Це передбачає оновлення рухомого складу, включення вимог доступності до технічних завдань і процедур закупівель, а також гармонізацію національних стандартів із європейськими.

Ключовою умовою ефективності таких змін є узгодженість технічних рішень щодо транспортних засобів із розвитком транспортної інфраструктури та сервісів. Лише комплексний підхід дозволяє забезпечити реальну доступність транспорту та повноцінну реалізацію принципів інклюзивної мобільності.

Отже, технічні стандарти та нормативні вимоги Європейського Союзу щодо безбар'єрності транспортних засобів можуть слугувати основою для створення в Україні сучасної транспортної системи, орієнтованої на потреби всіх користувачів і здатної забезпечити їх активну участь у суспільному житті.

### **Література**

1. UNECE Regulation No 107. Uniform provisions concerning the approval of category M2 or M3 vehicles with regard to their general construction. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2026/139/oj/eng/pdf>
2. Regulation (EU) 2018/858 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the approval and market surveillance of motor vehicles and their trailers, and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/858/oj/eng>
3. Regulation (EU) No 1300/2014 of 18 November 2014 on the technical specifications for interoperability relating to accessibility of the Union's rail system for persons with disabilities and persons with reduced mobility (TSI PRM) . URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2014/1300>

4. EN 16584-1:2025 Railway applications - Design for PRM use - General requirements - Part 1: Contrast
5. EN 16584-2:2025 Railway applications - Design for PRM use - General requirements - Part 2: Information
6. EN 17210:2021. Accessibility and usability of the built environment - Functional requirements
7. EN 301549:2021. Accessibility requirements for ICT products and services

УДК 658.7:004.7(477)

## **КОНСАЛТИНГОВІ ЛОГІСТИЧНІ ПОСЛУГИ В УКРАЇНІ: РОЛЬ EDTECH-ІНІЦІАТИВ У ФОРМУВАННІ ПОПИТУ**

**Савченко Лілія Анатоліївна**, к.т.н., доцент

**Лев Сусяк**, учень 157 ліцею Оболонського району, м. Києва

*Національний університет біоресурсів та природокористування України* email:  
lilya\_savchenko@nubip.edu.ua

Ринок логістичного консалтингу в Україні до 2022 року розвивався переважно в сегменті великих промислових підприємств і торговельних мереж, тоді як малий і середній бізнес звертався до зовнішніх консультантів лише епізодично. Ситуація змінилася після початку повномасштабного вторгнення: руйнування частини транспортної інфраструктури, вимушена переорієнтація маршрутів постачання та скорочення власних логістичних відділів поставили підприємства перед необхідністю швидко шукати компетентну зовнішню допомогу. Водночас традиційний офлайн-консалтинг з тривалими термінами залучення і високою вартістю – виявився недоступним для значної частини клієнтів [1].

У цьому контексті особливого значення набувають EdTech-ініціативи – освітні цифрові проєкти, що поєднують навчальний контент із практичними інструментами підтримки бізнес-рішень. Характерним прикладом такої ініціативи є платформа «Lev Business Consulting» (Київ) – учнівський проєкт, створений учнем 157 ліцею Оболонського району і реалізований у форматі безкоштовної онлайн-школи. Платформа пропонує шість навчальних модулів: повний курс бізнес-консалтингу, методи консалтингу, бізнес-аналіз, бізнес-стратегію, принципи фінансів і консалтинг для професіоналів. Задokumentовано понад 4 000 осіб, що пройшли навчання, та 16 галузевих менторів [2]. Попри некомерційний та навчальний характер проєкту, він ілюструє зростаючий запит на доступні форми здобуття логістичних і консалтингових компетенцій серед молодшої аудиторії та мікробізнесу.

Мета роботи -дослідити структуру ринку консалтингових логістичних послуг в Україні, визначити місце EdTech-ініціатив у цій структурі та запропонувати кількісні показники оцінювання якості онлайн-консалтингу.

На рис. 1 зображено авторську радіальну модель ринку. Центральний вузол – «Ринок логістичного консалтингу України», що об'єднує шість структурних елементів: традиційний офлайн-консалтинг, EdTech-ініціативи (до яких

належить Lev Consulting як приклад учнівського проекту), онлайн-платформи з freemium-моделлю, МСБ-клієнт як носій запиту, цифровий консультант та блок КРІ і результатів. Суцільні стрілки відображають потік послуг від ринку до елементів; пунктирні – зворотний зв'язок і результати, що повертаються на ринок у вигляді репутації та повторних звернень. У нижній частині схеми зображено три ключові показники якості консалтингової послуги:  $I_{дк}$ ,  $K_{кр}$  та  $E_{пит}$ , – обґрунтування яких наведено нижче.

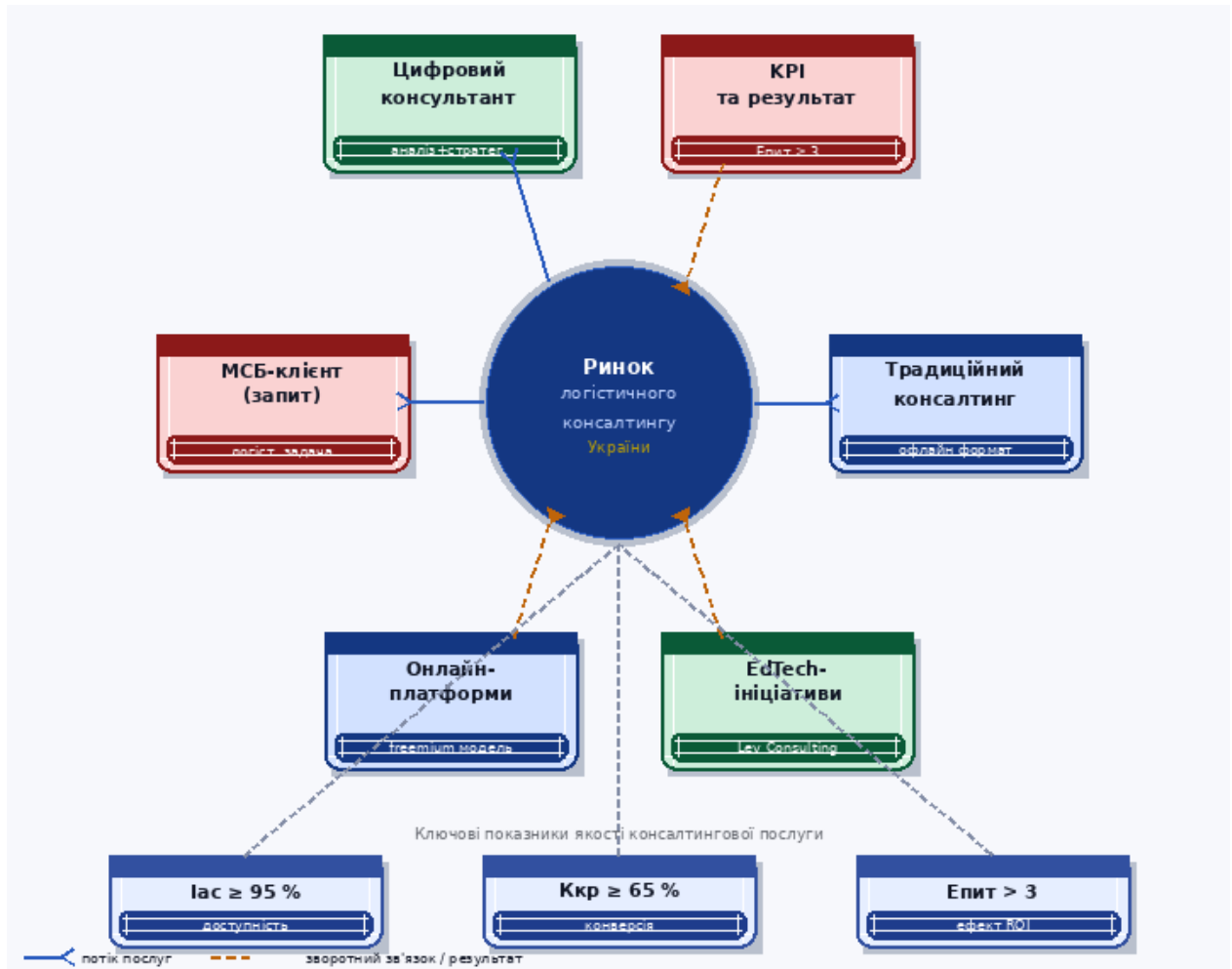


Рис. 1. Структура ринку консалтингових логістичних послуг України та місце EdTech-ініціатив

Для порівняльного оцінювання різних форматів консалтингових послуг запропоновано систему трьох показників.

1. Індекс доступності консалтингу  $I_{дк}$  – частка звернень клієнтів, що отримали повну відповідь у межах задекларованого терміну:

$$I_{дк} = N_{вчас} / N_{заг} \times 100 \%, \quad (1)$$

де  $N_{вчас}$  – кількість звернень, оброблених у встановлений термін;

$N_{заг}$  – загальна кількість звернень за звітний квартал.

Норматив для цифрових платформ:  $I_{дк} \geq 95 \%$ .

2. Коефіцієнт конверсії рекомендації  $K_{кр}$  – частка наданих рекомендацій, що були реально впроваджені клієнтом:

$$K_{кр} = N_{впр} / N_{рек} \times 100 \%, \quad (2)$$

де  $N_{впр}$  – кількість рекомендацій з підтвердженим позитивним ефектом;

$N_{рек}$  – загальна кількість виданих рекомендацій.

Показник є основним критерієм практичної цінності консультанта та впливає на його рейтинг на платформі [3].

3. Питомий ефект консалтингу  $E_{пит}$  - скорочення логістичних витрат клієнта на одиницю вартості консалтингової послуги:

$$E_{пит} = \Delta C_{лог} / C_{конс}, \quad (3)$$

де  $\Delta C_{лог}$  – фактичне скорочення логістичних витрат клієнта після впровадження рекомендацій, грн;

$C_{конс}$  – вартість консалтингової послуги, грн.

При  $E_{пит} > 3$  послуга вважається ефективною за ROI-критерієм, при  $E_{пит} < 1,5$  - збитковою для клієнта [1].

Таблиця 1. Порівняльна характеристика форматів логістичного консалтингу в Україні

Критерій	Розмірність	Традиційний (офлайн)	Онлайн-платформа	EdTech-ініціатива
Вартість послуги	грн/год	1 800–4 500	0–450	безкоштовно
Ідк	%	72–81	94–98	н/д (освітній формат)
$K_{кр}$	%	58–67	55–70	н/д (не замірюється)
$E_{пит}$	грн/грн	4,1–6,8	2,8–7,2	— (некомерційний)
Охоплення	—	місто / регіон	без обмежень	без обмежень
Цільова аудиторія	—	корпоративний сектор	МСБ	молодь, мікробізнес
Роль у формуванні попиту	—	пряма	пряма	непряма (освітня)

Як видно з табл. 1, EdTech-ініціативи на кшталт «Lev Business Consulting» не конкурують безпосередньо з комерційним консалтингом — вони формують майбутній попит: учасники навчальних програм, здобувши базові компетенції у сфері логістики та бізнес-аналізу, стають більш підготовленими клієнтами для платних консалтингових сервісів або самостійно вирішують завдання, з якими раніше зверталися б до консультантів. Таким чином, учнівські проекти виконують функцію первинної «грамотизації» ринку [2].

Проведене дослідження дозволяє зробити три висновки.

По-перше, ринок логістичного консалтингу в Україні перебуває на етапі структурної трансформації: зростає питома вага цифрових форматів (онлайн-платформи, EdTech), які демонструють вищий показник доступності  $I_{дк}$  порівняно з традиційним офлайн-консалтингом.

По-друге, учнівські EdTech-проекти, такі як «Lev Business Consulting», не є повноцінними консалтинговими суб'єктами, проте виконують важливу ринкову функцію - формують базові компетенції цільової аудиторії та опосередковано збільшують загальний попит на фахові послуги.

По-третє, для об'єктивного порівняння форматів необхідне застосування уніфікованої системи показників *Ідк*, *Ккр*, *Епит*, що дозволяє чітко розмежувати освітній, некомерційний і комерційний сегменти ринку логістичного консалтингу.

### Література

1. Crişan E. L., Marincean A. The digital transformation of management consulting companies: a review. *Information Systems and e-Business Management*. 2023. Vol. 21. P. 415–436. DOI: 10.1007/s10257-023-00624-4.

2. Lev Business Consulting School. Who We Are. Учнівська онлайн-платформа консалтингової освіти, м. Київ. URL: <https://prezidentlev.wixsite.com/your-future/who-we-are> (дата звернення: 17.03.2026).

3. Pavlenko O., Muzylyov D., Shramenko N., Cagaňová D., Ivanov V. Mathematical modeling as a tool for selecting a rational logistical route in multimodal transport systems. *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*. Cham: Springer, 2023. P. 23–37.

UDC 629.33:504.06

## PROBLEMS AND DEVELOPMENT PATHS FOR THE DECARBONIZATION OF HEAVY TRANSPORT IN THE EU

**Viktar Taustyka**, Ph.D. in Engineering, Assistant Professor  
*West Pomeranian University of Technology in Szczecin*  
E-mail: viktar.taustyka@zut.edu.pl

*Introduction.* The European Union has established an aggressive regulatory framework to decarbonize the heavy-duty vehicle (HDV) sector, driven by the overarching mandate of the European Green Deal to achieve complete climate neutrality by 2050. The commercial transport sector operates under unprecedented legislative pressure to eliminate both greenhouse gas (GHG) emissions and criteria air pollutants.

The cornerstone of this decarbonization strategy is the 'Fit for 55' legislative package, which dictates progressive fleet-wide CO<sub>2</sub> emission reductions for new heavy-duty vehicles: 15% by 2025, an intensified 45% by 2030, 65% by 2035, and a near-total decarbonization target of 90% by 2040 [1]. Concurrently, the impending Euro 7 emission standards (Regulation EU 2024/1257), entering into force in 2029, drastically reduce permissible tailpipe emissions, lowering the hot-engine Nitrogen Oxides (NO<sub>x</sub>) limit to 200 mg/kWh and restricting ultra-fine solid particles (PN10) [2].

While policymakers heavily promote battery electric vehicles (BEVs), fundamental gravimetric and volumetric energy density limitations make complete electrification prohibitive for high-payload, long-range transport. State-of-the-art lithium-ion batteries possess a gravimetric energy density of only 0.5 to 1.0 MJ/kg, compared to 45.7 MJ/kg for conventional diesel. Consequently, preserving the thermodynamic evolution of the compression ignition (CI) engine through alternative

fuel chemistry remains an absolute necessity. This report delineates three primary evolutionary paths for CI engines.

*Path 1: Advanced "Drop-In" Biofuels.* The most immediate logistical solution is Hydrotreated Vegetable Oil (HVO). Unlike first-generation Fatty Acid Methyl Ester (FAME) biodiesels, which contain roughly 11% oxygen and exhibit poor cold-weather operability, HVO is a second-generation synthetic paraffinic diesel (EN 15940 compliant). Produced via the catalytic hydrotreatment of lipid feedstocks, HVO is completely devoid of oxygen, sulfur, and aromatics. Its high cetane number (76.3) results in a shorter ignition delay, lowering peak combustion temperatures and reducing engine-out NO<sub>x</sub> by up to 9% without hardware modifications.

Table 1 - Volumetric and gravimetric energy density of transport energy carriers

Energy Carrier	Gravimetric Energy Density (MJ/kg)	Volumetric Energy Density (MJ/L)
Market Diesel (EN 590)	45.7	38.5
Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)	44.0	34.2
Lithium-Ion Battery	0.5 - 1.0	0.7 - 1.0

*Path 2: Synthetic E-Fuels (RFNBOs).* To achieve indefinite scalability without land-use conflicts, the transport sector is evaluating Renewable Fuels of Non-Biological Origin, specifically synthetic e-diesel generated via the Power-to-Liquid (PtL) pathway. This thermochemical process uses renewable electricity to synthesize liquid hydrocarbons from electrolytic hydrogen and CO<sub>2</sub> captured directly from the atmosphere. A critical intermediary step is the Reverse Water Gas Shift (RWGS) reaction to produce synthesis gas:



The syngas is then fed into a Low-Temperature Fischer-Tropsch (LTFT) reactor to yield long-chain alkanes. While e-diesel establishes a "closed-loop" carbon cycle, its commercialization is severely hampered by compounding thermodynamic efficiency losses. The well-to-tank (WTT) efficiency is heavily degraded by the massive energy penalties of Direct Air Capture (DAC) and water electrolysis, which accounts for nearly 89% of the PtL plant's electricity demand [4].

*Path 3: Hydrogen-Diesel Dual-Fuel Technology.* To bypass the severe thermodynamic losses of synthesizing liquid e-fuels, direct hydrogen utilization in CI engines represents the ultimate mechanical evolution. The baseline architecture involves port fuel injection (PFI) of low-pressure hydrogen ignited by a direct-injected diesel "micro-pilot". This approach yields profound improvements in Brake Thermal Efficiency (BTE), exceeding 50% under optimal conditions due to hydrogen's high laminar flame speed and near-isochoric heat release.

However, hydrogen's high adiabatic flame temperature triggers the "NO<sub>x</sub> Paradox," where extreme localized in-cylinder temperatures (over 2,000 K) accelerate the formation of thermal NO<sub>x</sub> via the Zeldovich mechanism. To mitigate this, advanced thermal dampening strategies such as Exhaust Gas Recirculation (EGR) and Water Injection (WI) are utilized. Water injection absorbs massive latent heat during

vaporization, acting as a thermal sink and suppressing NO<sub>x</sub> formation by over 90%, ensuring compliance with Euro 7 limits.

*In conclusion*, the internal combustion engine is not facing obsolescence but rather a profound chemical evolution. Through a phased transition from advanced biofuels to e-fuels, and ultimately to hydrogen-diesel dual-fuel architectures, the heavy transport sector can successfully meet the European Union's 2050 climate neutrality mandates without sacrificing payload capacity or logistical efficiency [3].

#### **Literature**

1. Regulation (EU) 2024/1610 of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union. 2024. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1610/oj/eng>
2. Regulation (EU) 2024/1257 of the European Parliament and of the Council (Euro 7). Official Journal of the European Union. 2024. URL: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202401257](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401257)
3. Kilibarda M., Andrejić M., Popović V. Research in logistics service quality: a systematic literature review. *Transport*. 2020. Volume 35 Issue 2. P. 224-235. DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2019.11388>
4. Pratschner S. Holistic Evaluation of Power-to-Liquid Processes Producing Methanol and Fischer-Tropsch Products. TU Wien. 2024. URL: <https://doi.org/10.34726/hss.2024.92422>

УДК 711.4

### **СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ МОБІЛЬНОСТІ В УМОВАХ УРБАНІЗАЦІЇ**

**Костюк Станіслав Юрійович**, асистент,  
**Лисенко Яна Олександрівна**, студентка

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
e-mail: [stanislavkostuk@nubip.edu.ua](mailto:stanislavkostuk@nubip.edu.ua)

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується стрімкою урбанізацією, яка суттєво змінює підходи до організації транспортних систем і мобільності населення. Зростання міст, концентрація економічної активності та підвищення рівня життя населення призводять до збільшення транспортних потоків, що, у свою чергу, створює нові виклики для транспортних технологій і логістики. Однією з основних проблем урбанізації є перевантаження транспортної інфраструктури. Збільшення кількості поїздок, як пасажирських, так і вантажних, призводить до заторів, зниження швидкості пересування та зростання витрат часу. Це негативно впливає не лише на економічну ефективність міста, але й на якість життя населення. У відповідь на ці виклики сучасні міста активно впроваджують нові транспортні технології, спрямовані на оптимізацію руху та підвищення ефективності використання інфраструктури.

Одним із ключових напрямів є розвиток інтелектуальних транспортних систем (ITS), які дозволяють у режимі реального часу аналізувати транспортні потоки та управляти ними. Використання датчиків, систем моніторингу та

алгоритмів оптимізації дає змогу зменшити затори, покращити координацію руху та підвищити безпеку на дорогах. Крім того, важливу роль відіграє інтеграція різних видів транспорту, що забезпечує більш ефективне переміщення пасажирів і вантажів у межах міста.

Суттєвим трендом останніх років є розвиток концепції сталої мобільності. Вона передбачає зменшення залежності від індивідуального транспорту та стимулювання використання громадського транспорту, велосипедів і пішохідної інфраструктури. У багатьох містах впроваджуються системи спільного користування транспортом (car-sharing, bike-sharing), що дозволяє зменшити кількість транспортних засобів на дорогах і підвищити ефективність їх використання. Доступність транспортних послуг для різних груп населення, зручність і безпека пересування стають важливими критеріями ефективності транспортних систем. У цьому контексті важливо забезпечити баланс між економічною доцільністю та соціальною справедливістю при плануванні транспортної інфраструктури.

З економічної точки зору ефективна мобільність є одним із ключових факторів розвитку міста. Вона забезпечує безперервність бізнес-процесів, знижує витрати на перевезення та підвищує продуктивність праці. Водночас неефективна організація транспортних систем призводить до значних економічних втрат, пов'язаних із затримками, перевитратами ресурсів і зниженням конкурентоспроможності міста.

Урбанізація та мобільність є взаємопов'язаними процесами, які визначають сучасний розвиток транспортних систем. Їх ефективна інтеграція потребує комплексного підходу, що включає впровадження інноваційних технологій, оптимізацію логістичних процесів і врахування екологічних та соціальних факторів. У майбутньому саме здатність міст забезпечити ефективну, безпечну та екологічно орієнтовану мобільність стане визначальним чинником їх сталого розвитку.

### **Література**

1. Кочеров М. В. Проблеми та перспективи інституційного формування міських агломерацій [Електронний ресурс] / М. В. Кочеров // Державне управління: удосконалення та розвиток. – 2025. – № 2. – Режим доступу : <https://www.nauka.com.ua/index.php/dy/article/view/5681/5739>

УДК 656.025:656.08

### **АНАЛІЗ РИЗИКІВ У ЛОГІСТИЦІ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**Лемішко Дар'я Сергіївна**, асистент,  
**Проскура Дарина Ігорівна**, студентка

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
e-mail: [lemishko.dasha@nubip.edu.ua](mailto:lemishko.dasha@nubip.edu.ua)

Сучасні транспортно-логістичні системи функціонують в умовах високої невизначеності, зумовленої динамічністю ринку, змінами довкілля та ускладненням ланцюгів поставок. Автомобільні перевезення, будучи ключовим

елементом логістики, особливо схильні до впливу різних факторів ризику. У зв'язку з цим аналіз та управління ризиками набувають найважливішого значення для забезпечення стійкості та ефективності транспортних процесів. Ризики в логістиці автомобільних перевезень є ймовірністю виникнення несприятливих подій, здатних призвести до порушення термінів доставки, збільшення витрат або погіршення якості обслуговування. До основних видів ризиків належать транспортні, економічні, екологічні, організаційні та інформаційні ризики.

Одним із найпоширеніших є ризик порушення термінів доставки, пов'язаний із дорожніми заторами, несприятливими погодними умовами та технічними несправностями транспортних засобів. В умовах зростання інтенсивності транспортних потоків цей ризик стає особливо актуальним і потребує застосування сучасних методів прогнозування та планування маршрутів. Економічні ризики пов'язані з коливаннями цін на паливо, змінами тарифів, а також додатковими витратами, що виникають у процесі перевезення. В умовах нестабільної економічної ситуації підприємства змушені враховувати дані фактори для формування логістичної стратегії та вибору маршрутів доставки. Істотне значення мають також екологічні ризики, зумовлені посиленням вимог до викидів та екологічним стандартам. У сучасних умовах компанії все частіше орієнтуються на принципи сталого розвитку та «зеленої логістики», що впливає на вибір транспортних засобів та маршрутів перевезень. Використання екологічно чистого транспорту та оптимізація логістичних процесів дозволяють знизити негативний вплив на довкілля. Організаційні ризики включають помилки у плануванні, недостатню координацію учасників логістичного ланцюга та вплив людського фактору. Впровадження цифрових технологій та автоматизованих систем управління дозволяє мінімізувати дані ризики за рахунок підвищення прозорості та керованості процесів. Окрему увагу слід приділити інформаційним ризикам, пов'язаним із використанням цифрових платформ та систем керування. Розвиток інформаційних технологій підвищує ефективність логістики, проте одночасно збільшує вразливість до кіберзагроз та витоку даних. За сучасних умов захист інформації стає важливим елементом забезпечення надійності транспортних систем.

Ефективне управління ризиками передбачає використання комплексного підходу, що включає ідентифікацію, оцінку та мінімізацію ризиків. Важливу роль грають методи математичного моделювання, що дозволяють прогнозувати можливі відхилення та розробляти оптимальні рішення. Крім того, застосування систем моніторингу та аналізу даних у реальному часі сприяє своєчасному виявленню загроз та прийняттю управлінських рішень. Комплексне управління ризиками дозволяє мінімізувати втрати, підвищити якість обслуговування та забезпечити ефективне функціонування логістичних процесів у сучасних умовах.

### **Література**

1. Pokusa M., Ohiienko M., Zagurskiy O. et al., Logistics in conditions of uncertainty. Monograph. Opole: Academy of Applied Sciences Academy of Management and Administration in Opole, 2024

2. Rodrigue J.-P. The Geography of Transport Systems. - 5th ed. New York : Routledge, 2020. 456 p.

УДК 656.078

## **ВПЛИВ ЕКОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАНЬ АГРАРНОЇ ПРОДУКЦІЇ**

**Грабовський Денис Євгенович**, студент<sup>5</sup>

*Національний університет біоресурсів та природокористування України*

Email: tt23-d.hrabovskiy@nubip.edu.ua

Новітні тенденції в економіці, посилення конкуренції на ринку послуг, підвищення попиту на високотехнологічні та екологічні продукти аграрного виробництва вимагають створення певних умов для транспортних компаній у сфері організації виробництва і надання логістичних послуг. Основною вимогою до створення прибуткового та ефективного ланцюга поставок в нинішніх умовах є його економічність – забезпечення переваг серед конкурентів за рахунок скорочення витрат, підтримка рівня якості аграрної продукції, максимізація швидкості та вчасності поставок, виходячи із специфічності вантажу. Наразі ланцюги постачань стають все більш глобальними, гнучкими та стійкими до збоїв, а транспортні компанії постійно розширюють свої мережі поставок, відбувається вертикальна та горизонтальна інтеграція на всіх рівнях виробництва.

Попри розширення та покращення перевезень підприємствам варто звертати й на інші фактори, а саме: на проблему ефективного використання обмежених ресурсів з урахуванням екологічних чинників. Все більше підприємств починають не тільки керуватися принципами сталого розвитку у своїй діяльності, а й запроваджують тісні взаємозв'язки з окремими постачальниками, які мають відповідну політику всередині компанії та сертифіковане підтвердження такої діяльності шляхом укладання договорів.

Екологічні ініціативи від світових виробників зменшують негативний вплив на навколишнє середовище та стимулюють працюючих з ними постачальників запроваджувати у своїй діяльності аналогічні заходи, серед яких, наприклад, перехід на відновлювальні джерела енергії, зменшення використання пакувальних засобів, встановлення альтернативних способів використання ресурсів та контролювання їх, транспортування на екологічно чистих транспортних засобів та інше.

Проте, дослідження компанії Llamasoft, що займається проєктуванням ланцюгів поставок, показує, що найбільше викидів вуглекислого газу від одиниці товару приходить не на його виробника, а на весь ланцюг поставок. Залежно від галузі від 65% і до 95% забруднення CO<sub>2</sub> спричиняється ланцюгом поставок товару, а не безпосередньо його виробництвом на заводах підприємства. Саме

---

<sup>5</sup> Науковий керівник – Загурський Олег Миколайович д.е.н., професор

через це зростає важливість надання пріоритету у співпраці більш екологічним компаніям [3].

Для забезпечення ефективного та екологічного виробництва, зокрема аграрної продукції, підприємствам необхідно ретельно проаналізувати та спланувати свою діяльність ще на рівні загальних цілей і проектування ланцюгів поставок.

З точки зору власне перевезення, слід приділити увагу використанню спеціалізованих екологічно-чистих автомобілів. Використання електромобілів є неминучим у сучасному світі. Різновид такого виду автомобілів має ряд беззаперечних переваг, перш за все для довкілля та власне транспортних компаній, а саме:

- відсутність викидів шкідливих домішок і речовин у повітря;
- забезпечення зменшення шумового впливу на навколишнє середовище, адже двигун фактично не виробляє звук;
- спрощена експлуатація за рахунок відсутності паливної системи та інших конструкційних елементів авто;
- економічність, а також надійність і довговічність експлуатації.

Незважаючи на більшість переваг таких транспортних засобів, під час бойових дій на території України починаючи з 24 лютого 2022 року невпинно зростає вартість сировини для виробництва акумуляторів: зростання цін на нікель, літій та інші матеріали загрожує уповільнити й навіть тимчасово розвернути назад повільну тенденцію до зниження вартості акумуляторів – найдорожчої частини електромобілів.

Питання екологічного впливу на довкілля стало ще актуальнішим, а дії, які спричиняють сучасні руйнування інфраструктури, пошкодження різних видів станцій можуть спричинити незворотні наслідки для суспільства, тому екологізація невід'ємної частини функціонування держави, такої як логістика, принаймні зі свого боку, має врахувати екологічні аспекти при транспортуванні життєво необхідної харчової продукції.

### **Література**

1. Загурський О.М. Управління ланцюгом постачань : навч. посіб. Біла Церква : ТОВ «Білоцерківдрук», 2018. 416.
2. Sustainability, The missing link: website. URL: <https://perspectives.eiu.com/sustainability/sustainability-missing-link> (the date of application: 29.03.2026).
3. Zagurskiy O., Savchenko L., Makhmudov I., Matsiuk V. Assessment of socio-ecological efficiency of transport and logistics activity. Proceedings of 21st International Scientific Conference Engineering for Rural Development 25-27.05.2022 Jelgava, LATVIA. 543-550
4. Zagurskiy O. M., Zhurakovska T. S. Food supply transport and logistics system organizations. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 53-59.

УДК 658.7:519.872

## ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ В ЛОГІСТИЦІ

Домотенко Степан Андрійович, студент<sup>6</sup>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Email: stepandomotenko8@gmail.com

Логістика є важливою частиною роботи підприємства, що створює умови для зменшення витрат і підвищення ефективності, а логістика дозволяє ефективно керувати великою кількістю потоків, які створюються в процесі роботи компанії, моделювати конфігурацію логістичної системи за основними та супутніми потоками. Найбільш часто застосовуваними методами математичної оптимізації, які використовуються як інструмент оптимізації при управлінні логістичними процесами, є: моделі управління запасами; теорія масового обслуговування; методи теорії графів тощо.

Моделі масового обслуговування обчислюють оптимальну кількість пунктів обслуговування замовлень, щоб мінімізувати витрати на бізнес.

Характерні елементи такої системи масового обслуговування – це:

- 1) постійно поступаючі заявки/замовлення тощо;
- 2) черга об'єктів, що очікують на обслуговування;
- 3) місця обслуговування (наприклад, місця діагностики транспортного засобу, місце вивантаження тощо).

Схематично структуру системи масового обслуговування представлено на рис. 1.

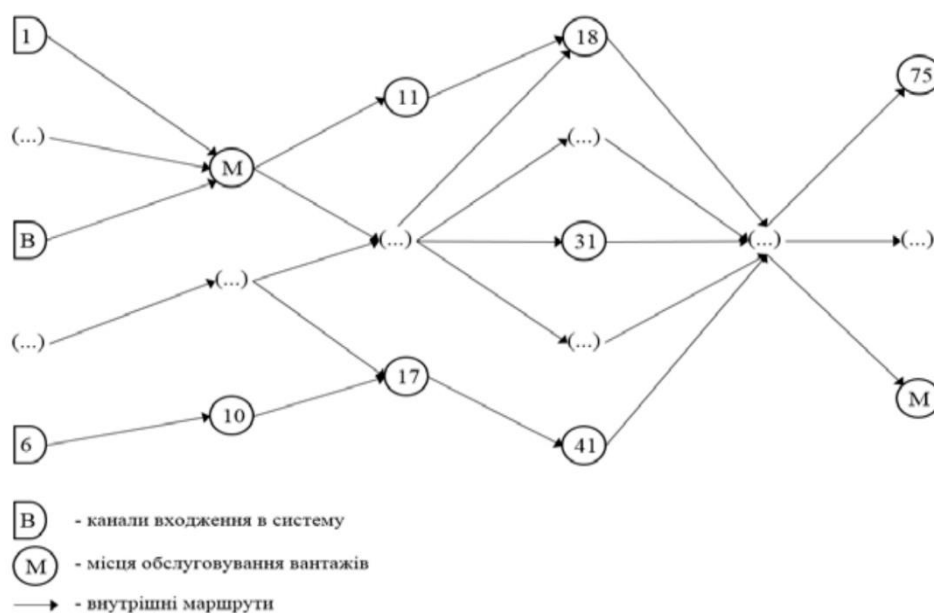


Рис. 1. Структура логістичної системи як мережі масового обслуговування

<sup>6</sup> Науковий керівник – Загурський Олег Миколайович д.е.н., професор

Характеристикою потоку вимог є  $\lambda$  – інтенсивність надходження замовлень в систему, тобто середня кількість замовлень, що надходять в систему за одиницю часу.

Механізм обслуговування визначається тривалістю процедур обслуговування ( $t$ ) та інтенсивністю обслуговування ( $\mu$ ), тобто кількістю вимог, які обслуговуються за одиницю часу. Існує обернена залежність між часом та інтенсивністю обслуговування, яка виражається формулою

$$t = \frac{1}{\mu}. \quad (1)$$

Використання принципів і моделей теорії масового обслуговування буде доцільним не лише для оптимізації логістичних та інших процесів в межах окремої організації/логістичної системи, але і для вирішення проблем і налагодження кращого функціонування ланцюгів постачань.

### **Література**

1. Matsiuk, V., Opalko, V., Savchenko, L., Zagurskiy, O., & Matsiuk, N. (2023). Optimisation of transport and technological system parameters of an agricultural enterprise in conditions of partial uncertainty. *Machinery & Energetics*, 14(3), 61-71. <https://doi.org/10.31548/machinery/3.2023.61>

2. Загурський О.М. Управління ланцюгом постачань : навч. посіб. Біла Церква : ТОВ «Білоцерківдрук», 2018. 416.

3. Zagurskiy O., Savchenko L., Makhmudov I., Matsiuk V. Assessment of socio-ecological efficiency of transport and logistics activity. *Proceedings of 21st International Scientific Conference Engineering for Rural Development 25-27.05.2022 Jelgava, LATVIA*. 543-550

УДК 504:65

## **A STUDY OF THE IMPACT OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE EFFICIENCY OF THE AGRICULTURAL SUPPLY CHAIN**

**Kateryna Matsiuk**, student<sup>7</sup>

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine.*

e-mail: [katyaa3691@gmail.com](mailto:katyaa3691@gmail.com)

In modern conditions of fast urbanization, city logistics faces critical ecological challenges. The European Green Deal strategy requires a significant reduction in greenhouse gas emissions. However, many retail chains in Ukraine still use heavy diesel trucks to deliver goods within city limits. This study focuses on analyzing the delivery system of the "ATB-Market" supermarket chain in Rivne, Ukraine, and proposes an ecological, electric-based logistics model.

Currently, the company uses large 20-ton diesel trucks (MAN TGX) to deliver fresh agricultural products to local stores. A study of a typical 22.4 km city route connecting 6 supermarkets revealed serious inefficiencies. Heavy trucks are not designed for narrow city streets with intense traffic. Our calculations show that fuel consumption in the city cycle rises to 35 liters per 100 km. Furthermore, the delivery

<sup>7</sup> Науковий керівник – Загурський Олег Миколайович д.е.н., професор

of "fresh" category products requires constant temperature control. During unloading at the stores, the truck engine and the refrigerator unit keep running. The analysis showed a paradox: 66% of the fuel is burned during parking (idling and cooling), not during driving. Ecologically, this basic scenario generates 63.2 kg of CO<sub>2</sub> per trip. In a yearly equivalent, just one truck on one route produces 22.7 tons of CO<sub>2</sub>, along with toxic nitrogen oxides and soot, polluting residential areas.

To solve this problem, a two-tier delivery system using a cross-docking terminal is proposed. The new model works as follows:

- Heavy diesel trucks deliver goods from regional centers only to a cross-docking hub located outside the city. They do not enter Rivne.

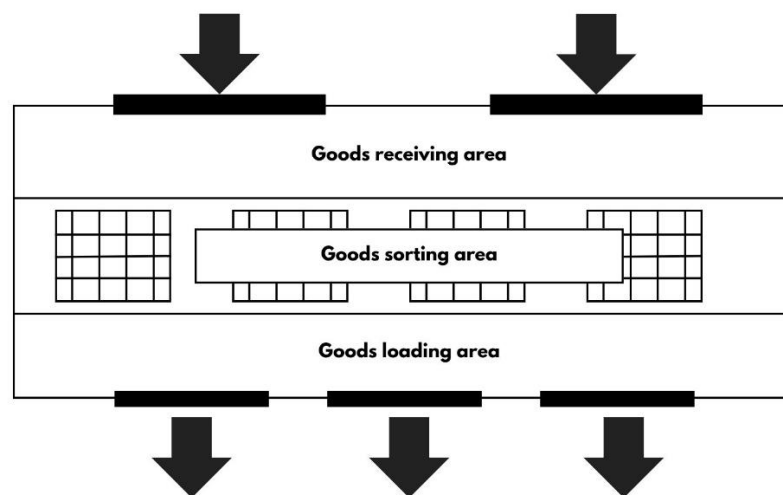


Fig. 1. Cross-docking hub scheme

- At the hub, the goods are quickly sorted and loaded into light commercial electric vehicles (LCEVs).



Fig. 2 The MAN eTGE electric van

- To keep the company's single-brand fleet policy, the MAN eTGE electric van (1.5-ton capacity, 35.8 kWh battery) is chosen for the "last mile" delivery.

Operational calculations show that the cargo from one 20-ton truck can be delivered by 3 electric MAN eTGE vans making 9 short trips

The comparative analysis proves the high efficiency of the proposed electric model. The daily energy consumption of the 3 electric vans is only 58.75 kWh.

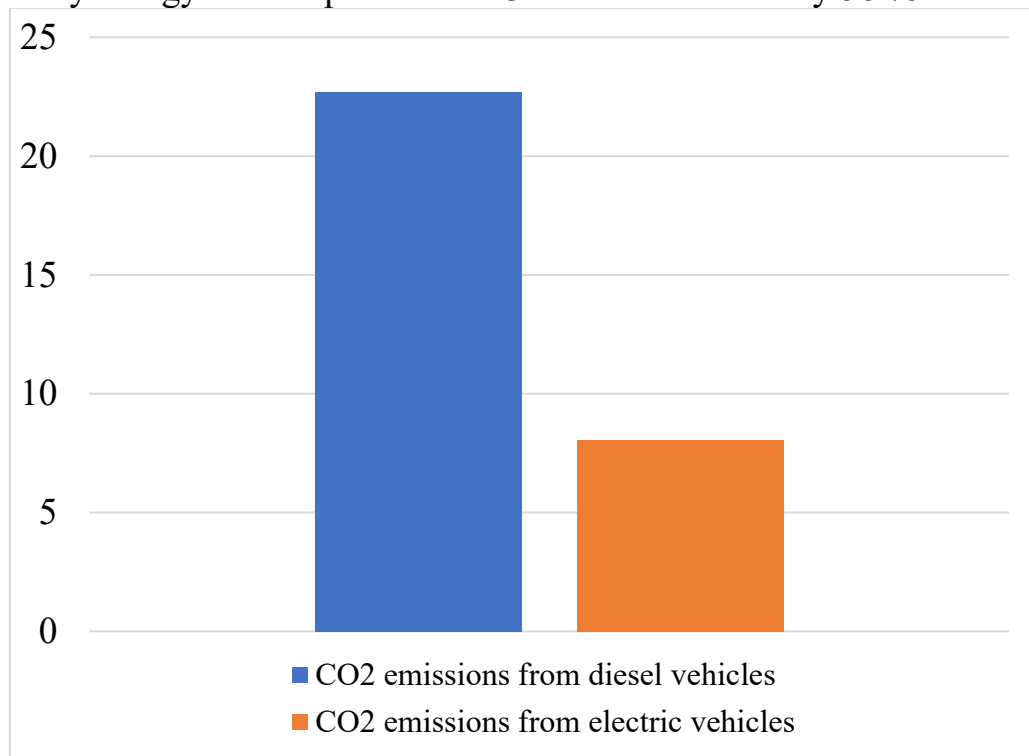


Fig. 3. Comparative chart of annual CO2 emissions before and after the system's implementation

The new system achieves a 100% reduction in local emissions. The 63 kg of toxic gases previously emitted in the city center are completely eliminated.

Even accounting for the CO2 emissions from Ukrainian power plants generating the electricity, the total carbon footprint is reduced by 71% (from 76.8 kg to 22.3 kg per day).

The project saves 14.7 tons of CO2 annually on a single route.

The transition to electric city logistics and cross-docking is an effective way to improve the urban environment. Despite the current challenges with the energy system in Ukraine due to the war, the required 59 kWh per day is a very low demand that can be met through night-time charging. This modernization is a practical step toward building a green, energy-independent infrastructure for post-war Ukraine.

### **Literature**

1. Бойченко М. Зелена логістика вантажоперевезень: проблеми, шляхи вирішення. Вісник економічної науки України. 2021. № 2 (41). С. 152–155.

2. В. Михайлов та ін. Актуальні питання біотехнології, екології та природокористування : Матеріали міжнар. наук. конф., м. Харків, 27–28 квіт. 2023 р. Харків, 2023.

3. Геоінформаційна система та картографічний сервіс «Візіком Карти». URL: <https://maps.visicom.ua>

4. Гірна О. Б., Глинський Н. Ю., Кобиліух Я. Складські послуги і крос-докінг. Економіка та суспільство. 2021. № 31. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-31-47>
5. Екологія міст і промислових центрів : реком. бібліогр. покажчик / Бібліотека Криворізького державного педагогічного університету ; упоряд. О. Б. Поліщук ; бібліогр. ред. О. А. Дікунова ; за ред. О. М. Кравченко. – Кривий Ріг, 2022. – 69 с.
6. Калініченко О., Севідова В. Визначення кількості транспортних засобів при крос-докінгу в умовах невизначеності та обмеженості ресурсів. Харківський національний автомобільно-дорожній університет. URL: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-1-189-475-481>
7. Мацюк К. І. Механізми пом'якшення впливу транспорту на екологію: досвід країн ЄС. VI Міжнародна науково-практична конференція : збірник тез. м. Київ, Україна, 19–21 квітня 2023 року, Київ. 2023. 233-234.
8. Мацюк К. І. Оцінка функціонування транспортної мережі за перерозподілу транспортних потоків. Автомобільний транспорт та інфраструктура: VII Міжнародна науково-практична конференція : збірник тез. м. Київ, Україна, 18–20 квітня 2024 року, Київ. 2024. 94-95.
9. Про затвердження Норм витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті : Наказ Міністерства транспорту України від 10.02.1998 р. № 43. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0043361-98>
10. Товарянський В. І., Ренкас А. А., Руденко Д. В. Удосконалення процесів транспортно-логістичної діяльності шляхом використання електромобілів в управлінні ланцюгом постачання. Вісник ЛДУБЖД. 2021. № 24. С. 116–122.
11. Шатковський О. В. "Зелена" економіка в контексті сталого розвитку України : 2012. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/25826>
12. The European Green Deal. European Commission : офіційний сайт. URL: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)

**ЗМІСТ**

Стор.

**СЕКЦІЯ  
ТРАНСПОРТНА ПОЛІТИКА ТА УПРАВЛІННЯ  
АВТОТРАНСПОРТНИМ ГОСПОДАРСТВОМ**

ІНСТИТУЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЯКОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ Загурський Олег Миколайович .....	4
СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВІАЦІЙНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У СВІТІ Мацюк В'ячеслав Іванович, Циганій Сергій Васильович .....	6
СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО РОЗВИТКУ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ Степанов Олексій Вікторович, Сліпуха Тетяна Іванівна .....	8
ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ АВТОТРАНСПОРТНИМ ГОСПОДАРСТВОМ НА ОСНОВІ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ Степанов Олексій Вікторович, Сліпуха Тетяна Іванівна .....	10
ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІСТА КИЄВА КАЛІНЕЧЕНКО Д. Ю., РУЖИЛО А. З. ....	13
RISK MANAGEMENT OF POST-WAR RESTART OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE IN UKRAINE Viktoriia V. Klymenko, Nadiia N. Novalska, Oleksandr R. Yeroshenko .....	15
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТОВ «НОВА ПОШТА» З ВІДКРИТТЯ ФІЛІАЛІВ В КРАЇНАХ ЄС Музикін Михайло Ігорович, Нестеренко Галина Іванівна, Біла Катерина Ігорівна .....	17
СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШИНАМИ РУХОМОГО СКЛАДУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ НОВИЦЬКИЙ А. В., РУЖИЛО А.З. ....	20

МАРКЕТИНГОВА ЛОГІСТИКА В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: СТРУКТУРНІ ЗРУШЕННЯ ТА АДАПТАЦІЙНІ СТРАТЕГІЇ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ Савченко Лілія Анатоліївна, Нефедова Ксенія, Заїка Марія .....	21
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ: СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ІННОВАЦІЇ У ЛОГІСТИЦІ Лемішко Дар'я Сергіївна .....	24
МОДЕРНІЗАЦІЯ ПІДПРИЄМСТВ АВТОТРАНСПОРТУ ПІД ВПЛИВОМ ФАКТОРІВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ Сліпуха Тетяна Іванівна .....	26
КЛЮЧОВИЙ ЕЛЕМЕНТ НОВОЇ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПОЛІТИКИ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ Перекуда О.О., Колосок І.О. ....	28
<b>СЕКЦІЯ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ</b>	
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АВТОПЕРЕВЕЗЕНЬ ВРОЖАЮ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ПРИКЛАДІ ДІЯЛЬНОСТІ ТОВ «АГРОФІРМА БРУСИЛІВ» Дьомін Олександр Анатолійович, Герасимчук Кіріл Віталійович .....	30
МЕТОД ФОГЕЛЯ ЯК ЗАСІБ РОЗРОБКИ ЕФЕКТИВНИХ МАРШРУТІВ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ Дьомін Олександр Анатолійович, Блажкун Олександр Сергійович .....	32
ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ В УКРАЇНІ ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ Дьомін Олександр Анатолійович Одинцов Сергій Юрійович .....	33
ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ ПО ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ У МІЖМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ Дьомін Олександр Анатолійович, Онуфрієвич Сергій Гаврилович .....	34

ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ «КЛАРКА-РАЙТА» ПРИ ПЛАНУВАННІ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ В УМОВАХ МІСТА КИЇВ Дьомін Олександр Анатолійович, Репінський Євгеній Андрійович .....	36
ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ТВЕРДИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ Дьомін Олександр Анатолійович Руденко Дмитро Олександрович .....	38
ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ РОЗПОДІЛУ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ НА РОЗПОДІЛЬЧОМУ ХАБІ Ломотько Денис Вікторович Нестеренко Олександр Олександрович .....	40
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ДЛЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ Прокудін Георгій Семенович, Даніва Валерія Андріївна, Салада Анастасія Тарасівна .....	42
РОЛЬ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В ПЕРЕВЕЗЕННІ МАСОВИХ ВАНТАЖІВ Бех Петро Вікторович .....	43
ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ ТА УЗГОДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ РОБОТИ НА МІЖНАРОДНИХ АВТОПЕРЕВЕЗЕННЯХ Бондарев Сергій Іванович, Іщенко Олексій Олександрович .....	44
ІНСТРУМЕНТИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ ЯК ОСНОВА ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ Бондарев Сергій Іванович, Заярний Сергій Олександрович .....	46
ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТУВАННЯМ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНІЙ ЛОГІСТИЦІ Бондарев Сергій Іванович, Могильний Віктор Олександрович .....	49

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ  
ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ НА ЕТАПАХ « ПЕРШОЇ ТА  
ОСТАННЬОЇ МИЛІ»**

Колісник А.В.,  
Панченко В.С.  
Шпек Т.В.,  
Алієв І.Е. ....51

**ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСПОРТУЮЧИХ ВІЗКІВ-  
ПІДБИРАЧІВ ПРИ ЗАГОТІВЛІ СІНА В РОЗСИПНОМУ ВИГЛЯДІ**

Кузьменко Володимир Федорович,  
Онищенко Володимир Борисович,  
Холодюк Олександр Володимирович .....53

**ОСНОВНІ НЕБЕЗПЕЧНІ ЧИННИКИ ТА ОЦІНКА РИЗИКІВ ДЛЯ  
ВОДІЇВ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ**

Марчишина Є. І.,  
Зубок Т. О. ....56

**НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТУПНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ  
СИСТЕМ У ЄС ТА ЙОГО АДАПТАЦІЯ В УКРАЇНІ**

Опалко Вікторія Григорівна .....57

**ВИЗНАЧЕННЯ ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ ЩОДО ФОРМУВАННЯ  
ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСТАВКИ МЕБЛЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ З  
УКРАЇНИ ДО ПОЛЬЩІ**

Павленко Олексій Вікторович .....60

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО І  
АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ПРИ ПРЯМОМУ ВАРІАНТІ  
ПЕРЕРОБКИ ВАНТАЖІВ**

Продащук Світлана Миколаївна,  
Кім Катерина Володимирівна,  
Продащук Микола Вікторович .....63

**ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ СЕРВІСУ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИЦІЙНИЙНОЇ  
ДІЯЛЬНОСТІ В УМОВАХ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИКИ**

Птиця Наталія Василівна,  
Хижняк Олег Євгенович .....65

**СУЧАСНІ АВТОМОБІЛЬНІ ЗАСОБИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ТВАРИН:  
ТЕХНІЧНИЙ СТАН, ВИМОГИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

Ребенко Віктор Іванович .....68

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ Рибальченко Лілія Ігорівна .....	70
МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ Савченко Лілія Анатоліївна .....	71
ХОЛОДОВИЙ ЛАНЦЮГ: ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ШВИДКОПСУВНИХ ВАНТАЖІВ Савченко Лілія Анатоліївна, Бумар Віталій .....	75
МУРАШИНА ЛОГІСТИКА ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ Савченко Лілія Анатоліївна, Гутник Едуард .....	77
ОРГАНІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: МУЛЬТИМОДАЛЬНІ СХЕМИ ТА ЦИФРОВЕ УПРАВЛІННЯ Савченко Лілія Анатоліївна, Костенко Олександра .....	80
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ МАРШРУТИЗАЦІЇ У МЕЖАХ МІСТА (ПРОЄКТ KYIV CITY TOUR) Савченко Лілія Анатоліївна, Нефедова Ксенія .....	83
ПЕРСПЕКТИВА ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСТАВКИ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИМ ЦЕНТРОМ У КОНТЕЙНЕРАХ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ Черпаха Олександр Сергійович .....	86
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТЕЙНЕРИЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ РОЗВИТКУ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЇ ЛОГІСТИКИ Шапатіна Ольга Олександрівна, Крашенінін Олександр Семенович, Кім Катерина Володимирівна, Троян Денис Олександрович .....	89
МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ ЗА УЧАСТЮ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ Шульдінер Юлія Володимирівна, Петрик Сергій Вікторович, Бабак Євген Олександрович, Мигуліна Дарина Сергіївна .....	91

РЕВЕРСИВНІ ЛОГІСТИЧНІ ПОТОКИ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ Костюк Станіслав Юрійович, Архипська Валерія Олександрівна .....	93
БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ ЗА УМОВ ВІЙНИ: АНАЛІЗ РИЗИКІВ Костюк Станіслав Юрійович, Олійник Анастасія Сергіївна .....	94
СУЧАСНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ Костюк Станіслав Юрійович, Розпутній Богдан Володимирович .....	96
ПЕРСПЕКТИВА ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ У ПРИМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЛОСИПЕДНОГО РУХУ Кушнір Дмитро Едуардович, Павленко Олексій Вікторович .....	97
ЗЕЛЕНА ЛОГІСТИКА ЯК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ Лемішко Дар'я Сергіївна .....	100
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ Лемішко Дар'я Сергіївна, Майорова Аліса Олександрівна .....	101
СТАН ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ ТА РОЛЬ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ВІЙНИ Мацюк Надія Олексіївна .....	102
ДОСВІД КОНТРЕЙЛЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ Сушко Станіслав Валерійович, Назаров Олексій Анатолійович .....	103
ТЕХНОЛОГІЯ РОБОТИ СУХИХ ПОРТІВ В СТРУКТУРІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ Ушаков Андрій Миколайович, Баркалова Наталія Олександрівна .....	106
ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЖНАРОДНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ПРИКЛАДІ ЛОГІСТИЧНОЇ КОМПАНІЇ ТОВ «ОУШН БРІДЖ» Бугаєнко Євгеній Олександрович .....	107

**ОСОБЛИВОСТІ ЛОГІСТИКИ ЕКСПОРТУ ЗЕРНА УКРАЇНИ В УМОВАХ  
ВІЙНИ**

Вакуленко Ярослава Євгенівна .....109

**ТРАНСФОРМАЦІЯ ЛОГІСТИКИ ДОСТАВКИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ  
ЦИФРОВІЗАЦІЇ**

Дудка Карина Євгенівна,  
Птиця Наталія Василівна .....111

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У  
СИСТЕМІ МІЖНАРОДНОЇ ЛОГІСТИКИ НА ПРИКЛАДІ ТОВ «СВ БРОК»**  
Мацкевич Віктор Володимирович .....114

**СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОНТЕЙНЕРНИХ  
ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ**

Сак Валентина Віталіївна .....116

**СЕКЦІЯ  
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ТРАНСПОРТІ**

**ІНФОРМАТИЗАЦІЯ ЛОГІСТИКИ В КОНТЕКСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ  
ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ УЧАСНИКІВ ЛОГІСТИЧНОГО ЛАНЦЮГА**

Ломотько Денис Вікторович,  
Лактіонов Олександр Петрович,  
Литовченко Андрій Анатолійович  
Золочевський Олександр Леонідович .....119

**ІНТЕГРАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ У  
ЛОГІСТИЧНІ ПРОЦЕСИ**

Степанов Олексій Вікторович,  
Сліпуха Тетяна Іванівна .....120

**ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЛИКИХ ДАНИХ У СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ  
ТРАНСПОРТОМ**

Степанов Олексій Вікторович,  
Сліпуха Тетяна Іванівна .....123

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО КЕРУВАННЯ  
ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ**

Орищенко Сергій Вікторович .....125

**ЦИФРОВИЙ ОБЛІК У ТРАНСПОРТНОМУ ПРОЦЕСІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ  
ПОШТУЧНИХ ВАНТАЖІВ**

Савченко Лілія Анатоліївна,  
Максим Бумар .....127

<b>ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ (ITS) У СЕРВІСНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ</b>	
Тітова Людмила Леонідівна .....	130
<b>СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ТА УПРАВЛІННЯ «РОЗУМНИМИ» МІСТАМИ НА ОСНОВІ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ</b>	
Іванов Євген Костянтинівич .....	131
<b>ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ЛОГІСТИЦІ: ВПЛИВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЕРЕВЕЗЕНЬ</b>	
Костюк Станіслав Юрійович, Орел Ярослав Олександрович .....	134
<b>ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ</b>	
Лемішко Дар'я Сергіївна, Катреча Ян Олександрович .....	135
<b>СЕКЦІЯ ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ</b>	
<b>ПРЕДИКТИВНЕ ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЯК ОСНОВА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ</b>	
Степанов Олексій Вікторович, Сліпуха Тетяна Іванівна .....	137
<b>ANALYTICAL RELATIONSHIPS FOR DETERMINING THE SPEED OF VEHICLES BASED ON THE LAWS OF CONSERVATION OF ENERGY AND MOMENTUM</b>	
Mamuka Venassi .....	139
<b>METHODS OF POWER LINE DEPLOYMENT IN ROAD TRANSPORT NETWORKS</b>	
Xin Du .....	142
<b>ГАЗОВІ ПАЛИВА ЯК АЛЬТЕРНАТИВНИЙ ВИД ПАЛИВА</b>	
Корпач Анатолій Олександрович, Домбровський Олег Геннадійович, Романенко Євген Сергійович .....	144
<b>DESIGN AND ANALYSIS OF A HIGH-PERFORMANCE TWO-STROKE V4 ENGINE</b>	
Pavel Navitski, Kyle Hesser, Hayden Karnes, Max Woods .....	147

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ САМОХІДНИХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ Новицький Андрій Валентинович .....	151
ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС АВТОМОБІЛІВ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ВИДАМИ ПАЛИВА Тітова Людмила Леонідівна .....	153
ОСНОВНІ ПРИЧИНИ ЗНОСУ ГАЛЬМІВНОЇ КОЛОДКИ Загурський Андрій Олегович .....	155
ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ТРАНСПОРТОМ ОПТИМІЗАЦІЄЮ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ АГРЕГАТІВ ТРАНСМІСІЇ Матвієнко Роман Михайлович, Добуш Андрій Ігорович, Криштопа Святослав Ігорович .....	157
ЗНИЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ ПАР ТЕРТЯ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ Мисів Олег Олегович, Копильців Дмитро Васильович, Криштопа Святослав Ігорович .....	160
ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМНОГО ККД НАСОСІВ ВИСОКОГО ТИСКУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ РОБОЧОЇ ОЛИВИ НАСОСІВ Сем'янчук Андрій Ігорович, Солярчук Іван Михайлович, Криштопа Святослав Ігорович .....	162
MODELING AND SIMULATION OF AN AUTOMATIC TRANSMISSION CONTROL SYSTEM USING SIMULINK Kolby Mostrom, Joshua Nwaneli, Prem Thannickal, Sophie X. Liu, .....	165
CONTROL SYSTEMS FOR PUMP NETWORKS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY: EFFICIENCY, SAFETY, AND EMERGING TECHNOLOGIES Axl Ortega, Caleb Haines, Chloe Rowland, Sophie X. Liu .....	171

**PID-BASED CRUISE CONTROL DESIGN AND OPTIMIZATION USING ROOT LOCUS ANALYSIS FOR A VEHICLE SYSTEM**

Samuel Patchen,  
Rebecca Randall,  
Jacques van Bommel,  
Sophie X. Liu .....182

**MODERNIZATION OF A LEGACY FORMULA SAE**

Kolby Mostrom,  
Prem Thannickal,  
Samuel Patchen,  
Danny Peirce,  
Agnel Harry,  
Jacques van Bommel,  
Joshua Nwaneli,  
Prince Tanguli,  
Gerrit Van De Keift,  
Dominic Halsmer.....190

**СЕКЦІЯ**

**ТЕХНІЧНЕ ПЕРЕОСНАЩЕННЯ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА,  
АВТОТЕХНІЧНА ЕКСПЕРТИЗА ТА БЕЗПЕКА ДОРОЖНЬОГО РУХУ**

**CYCLING THROUGH ‘KISSING GATES’: BALANCING SPEED REDUCTION,  
RIDING COMFORT, AND FALL RISK**

Aliaksei Laureshyn,  
Carl Johnsson,  
Jenny Eriksson .....195

**АВТОТЕХНІЧНА ЕКСПЕРТИЗА ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ  
БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ**

Степанов Олексій Вікторович,  
Сліпуха Тетяна Іванівна .....197

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ МОБІЛЬНОСТІ ПАСАЖИРІВ У  
ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ**

Бондарев Сергій Іванович,  
Блюмкін Юрій Віталійович .....200

**ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМИ ВІДСТЕЖЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ НЕБЕЗПЕК НА  
АВТОТРАНСПОРТНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ**

Войналович Олександр Володимирович,  
Мотрич Михайло Миколайович .....201

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ПРАЦІ ВОДІЇВ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПІД ЧАС СЕЗОННИХ РОБІТ У АПК Марчишина Є. І. ....	204
ОСНОВНІ ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ БДЖІЛ Марчишина Є. Оврас Р. ....	205
ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ПЕРЕДРЕЙСОВИХ ІНСТРУКТАЖІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ВОДІЇВ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ Марчишина Є., Дідиченко М. ....	207
СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ТРАНСПОРТУ І ПІШХОДІВ У ШВЕЦІЇ Нагорний Тимофій Володимирович .....	209
ТЕНДЕНЦІЇ ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ АВАРІЙНОСТІ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ Рябушенко Олександр Васильович Корнієнко Марина Ігорівна .....	212
АВТОМОБІЛЬНА ІНФРАСТРУКТУРА УКРАЇНИ ПІД ЧАС ЗБРОЙНОГО КОНФЛІКТУ: СТРУКТУРА ВТРАТ І ЛОГІКА ВІДНОВЛЕННЯ Савченко Лілія Анатоліївна, Клешня Даніл .....	214
TRAFFIC SAFETY: HOW DO WE MEASURE IT? Yastremska-Kravchenko Oksana .....	216
РОЗВИТОК СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ Волошко Тарас Павлович .....	220
СТАН АВАРІЙНОСТІ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ У 2025 РОЦІ Кошара М.І., Колосок І.О. ....	221
БЕЗПЕКА ДОРОЖНЬОГО РУХУ ЯК ПОЛІТИЧНИЙ ПРІОРИТЕТ Олійник А.С., Колосок І.О. ....	224
СТАН АВАРІЙНОСТІ НА МІСЬКОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ У 2025 РОЦІ Томченко О.А., Колосок І.О. ....	225

ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ Хоненко М.В., Колосок І.О. ....	228
--	-----

**СЕКЦІЯ  
СОЦІАЛЬНІ, ЕКОНОМІЧНІ, ЕКОЛОГІЧНІ ТА ПРАВОВІ АСПЕКТИ  
РОЗВИТКУ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ**

ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМИ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ В ТРАНСПОРТНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ Дьомін Олександр Анатолійович, Максименко Катерина Іванівна .....	230
--	-----

ВИЗНАЧЕННЯ СТРАТЕГІЧНИХ НАПРЯМІВ ЛОГІСТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ Загурський Олег Миколайович Попов Нікіта Дмитрович .....	232
--	-----

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОНОКАНАЛЬНИХ ТА БАГАТОКАНАЛЬНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАНЬ Загурський Олег Миколайович, Хоненко Максим Вікторович .....	233
---	-----

РОЗВИТОК ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ УРБАНІЗАЦІЇ Степанов Олексій Вікторович, Сліпуха Тетяна Іванівна .....	235
---	-----

БЕЗБАР'ЄРНІСТЬ У ТРАНСПОРТІ ТА ТРАНСПОРТНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ БІЛОЦЕРКІВСЬКОЇ ГРОМАДИ Юхименко Петро Іванович	237
--	-----

LABORATORY INVESTIGATION OF ENVIRONMENTAL EFFECTS ON COSMIC RAYS USING PASCO DETECTION SYSTEMS FOR EXPERIENTIAL ENGINEERING EDUCATION Gregg Elena, Pavel Navitski, McLaughlin John, Pendell Gabriel, Khlem Wesley .....	239
--	-----

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СПГ-АВТОБУСІВ У ПОРІВНЯННІ З ДИЗЕЛЬНИМИ Бондарев Сергій Іванович, Кульбачний Іван Олексійович .....	250
--	-----

ВПЛИВ ESG-КРИТЕРІЇВ НА ОПЕРАЦІЙНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ Докієнко Лариса Миколаївна .....	252
ФОРМУВАННЯ ДОСТУПНОГО СЕРЕДОВИЩА У СИСТЕМАХ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ОСІБ З ІНВАЛІДНІСТЮ Загурська Світлана Миколаївна .....	255
ДОТРИМАННЯ ОСНОВНИХ ПРАЦЕОХОРОННИХ АСПЕКТІВ НА ВЕЛИКИХ ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРАХ УКРАЇНИ Марчишина Є. І. ....	257
ВПЛИВ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАКОНОДАВСТВА ЄС НА ОНОВЛЕННЯ ПАРКУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ АГРАРНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ Мельник Валентина, Лісецький Віталій, Фуренко Олександра .....	259
SENSOR-DRIVEN SMART PLANT WALL SYSTEM FOR ADAPTIVE NOISE ATTENUATION AND ENVIRONMENTAL MONITORING IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE Pavel Navitski, Simeon Spiess, Joy Toku, Patrick Hernandez Gale, Bohdan Navitski .....	261
ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЩОДО БЕЗБАР'ЄРНОСТІ В ЄС ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В УКРАЇНІ Опалко Вікторія Григорівна .....	263
КОНСАЛТИНГОВІ ЛОГІСТИЧНІ ПОСЛУГИ В УКРАЇНІ: РОЛЬ EDTECH- ІНІЦІАТИВ У ФОРМУВАННІ ПОПИТУ Савченко Лілія Анатоліївна, Лев Сусяк .....	266
PROBLEMS AND DEVELOPMENT PATHS FOR THE DECARBONIZATION OF HEAVY TRANSPORT IN THE EU Viktar Taustyka .....	269
СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ МОБІЛЬНОСТІ В УМОВАХ УРБАНІЗАЦІЇ Костюк Станіслав Юрійович, Лисенко Яна Олександрівна .....	271

АНАЛІЗ РИЗИКІВ У ЛОГІСТИЦІ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ Лемішко Дар'я Сергіївна, Проскура Дарина Ігорівна .....	272
ВПЛИВ ЕКОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАНЬ АГРАРНОЇ ПРОДУКЦІЇ Грабовський Денис Євгенович .....	274
ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ В ЛОГІСТИЦІ Домотенко Степан Андрійович .....	276
A STUDY OF THE IMPACT OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE EFFICIENCY OF THE AGRICULTURAL SUPPLY CHAIN Kateryna Matsiuk .....	277

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ЗБІРНИК  
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ  
ІХ МІЖНАРОДНОЇ  
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
«Автомобільний транспорт та інфраструктура»  
(23-25 квітня 2026 року)**

*Відповідальні за випуск:*

*О.М. Загурський* – професор кафедри транспортних технологій та засобів у АПК

*Л.А. Савченко* – завідувачка кафедри транспортних технологій та засобів у АПК

*Редактор* – *О.М. Загурський*.

*Дизайн і верстка* – кафедра транспортних технологій та засобів у АПК

*Адреса колегії* – 03041, Україна, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 12<sup>б</sup>,  
НУБіП України, навч. корп. 11, кімн. 309.

---

Підписано до друку 5.05.2026. Формат 60□84 1/16.

Папір Maestro Print. Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman та Arial.

Друк. арк. 14,8. Ум.-друк. арк. 18,4. Наклад 150 прим.

Зам. № 9436 від 5.05.2026.

Редакційно-видавничий відділ НУБіП України  
03041, Київ, вул. Героїв Оборони, 15. т. 527-80-49, к. 117

Віддруковано ФО-П Білецький Р.Г.,

Типографія Аграр Медіа Прінт.

Адреса потужностей: м. Київ, вул. В.Некрасова, 3

e-mail: [info@agrarmedia.com](mailto:info@agrarmedia.com), тел.: (067) 407 87 23

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру  
видавців ДК №8116 від 21.06.2024р.

[www.agrarmedia.com](http://www.agrarmedia.com)

---