

перспективі поєднання математичних підходів із інструментами штучного інтелекту, машинного навчання та IoT-технологій створює передумови для побудови динамічних систем управління графіками, адаптованих до реальних умов міської мобільності.

### Література

1. Schöbel, A. (2001). *Interval scheduling: A graph-theoretic approach to the modelling of transfer timetables*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04621-4>
2. Dollevoet, T. A. B., Huisman, D., Schmidt, M. E., & Schöbel, A. (2012). Delay management with re-routing of passengers. *Transportation Science*, 46(1), 74–89. <https://doi.org/10.1287/trsc.1110.0375>
3. Ceder, A. (2007). *Public transit planning and operation: Theory, modeling and practice*. Elsevier. <https://doi.org/10.1201/b12853>
4. Dollevoet, T. A. B., Huisman, D., Schmidt, M., & Zwaneveld, P. (2012). Delay management with re-routing of passengers. *Transportation Science*, 46(1), 74–89. <https://doi.org/10.1287/trsc.1110.0375>
5. Tomoeda, A., Nishinari, K., Chowdhury, D., & Schadschneider, A. (2007). An information-based traffic control in a public conveyance system: Reduced clustering and enhanced efficiency. *Physical Review E*, 75(4), 040302. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.75.040302>
6. Вдовиченко В.О., Іванов І. Є., Підлубний С. Ю., Іванов Є.І. Структура варіативної оцінки доцільності організації пріоритетного руху міського пасажирського транспорту. Вісник ХНАДУ. 2023. №102. С. 78-86. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.102.1.78>

УДК 656.1

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСТАВКИ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ У МІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ

Студ. Чеховський Д.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

В умовах урбанізації та зростання інтенсивності вантажопотоків у містах проблема безпечного транспортування небезпечних вантажів набуває особливої актуальності. Небезпечні вантажі, згідно з класифікацією ADR, включають широкий спектр речовин, які при порушенні умов перевезення можуть становити серйозну загрозу життю та здоров'ю людей, об'єктам інфраструктури та довкіллю. З огляду на це, вибір оптимального методу доставки таких вантажів у межах міського середовища повинен базуватись на комплексному врахуванні логістичних, технічних, правових та безпекових аспектів.

Автомобільний транспорт залишається основним способом доставки небезпечних вантажів на короткі відстані, у тому числі в умовах міста. Проте специфіка міського простору - щільна забудова, інтенсивний трафік, наявність соціально чутливих об'єктів (шкіл, лікарень, житлових масивів) — вимагає особливо ретельного планування маршрутів, часу доставки та забезпечення контролю на всіх етапах перевезення. Порушення навіть одного з факторів може призвести до надзвичайної ситуації, що має соціальні, економічні та екологічні наслідки.

У науковій літературі представлено низку підходів до організації перевезень небезпечних вантажів [1-4], зокрема із застосуванням методів багатокритеріального прийняття рішень, математичного моделювання ризиків, геоінформаційних технологій та оптимізації транспортних мереж. Однак, більшість з них орієнтовані переважно на міжміські чи транзитні перевезення, тоді як міське сполучення вимагає спеціальних адаптацій моделей з урахуванням локальних умов: обмежень по часу, зон обмеженого доступу, щільності руху та концентрації населення. У межах дослідження розглянуто критерії вибору маршрутів, принципи оцінки ризиків, алгоритми планування перевезень, а також приклади застосування програмного забезпечення для моделювання та моніторингу таких перевезень у міському середовищі.

Організація доставки небезпечних вантажів автомобільним транспортом у межах міста є складною логістичною задачею, що вимагає врахування широкого спектра факторів: рівня ризику для населення, щільності забудови, інтенсивності руху, технічного стану доріг, вимог нормативного регулювання та наявності інфраструктури для обслуговування спеціалізованих транспортних засобів. У міському сполученні такі перевезення супроводжуються підвищеним ризиком, тому застосування стандартних міжміських рішень часто є недостатнім. Необхідним є впровадження спеціалізованих методів планування маршрутів та організації перевезень, які забезпечують як безпеку, так і ефективність логістичних процесів.

Одним із найпоширеніших методів є використання детермінованих маршрутів з попередньо узгодженими зонами проходження, що відповідають вимогам нормативних документів (зокрема, Європейської угоди ADR). Такий підхід передбачає рух лише певними дозволеними вулицями, уникнення зон підвищеної концентрації населення, стратегічно важливих об'єктів та об'єктів екологічного ризику. Крім того, маршрути визначаються з урахуванням дорожньої інфраструктури, ширини проїзної частини, висоти мостів і вантажопідйомності конструкцій. У ряді міст Європи та США додатково застосовуються часові обмеження, коли рух транспорту з небезпечними вантажами дозволено лише в нічні години або поза годинами пік.

Іншим ефективним методом є застосування моделей багатокритеріального вибору маршруту з урахуванням ризику, часу доставки та економічних витрат. Такі моделі будуються на основі алгоритмів мінімізації ризику або компромісного підходу, що дозволяє обрати маршрут, який є прийнятним як з погляду безпеки, так і з точки зору логістичних витрат. У цьому випадку використовуються математичні інструменти, зокрема методи вагових коефіцієнтів, аналізу варіантів (АНР, TOPSIS), евристичні алгоритми (Dijkstra, A\*), а також елементи теорії графів.

Широкого поширення набуває також використання геоінформаційних систем (ГІС) для моделювання перевезень небезпечних вантажів у місті. Завдяки просторовому аналізу можливо оцінити ризики, пов'язані з наближенням маршруту до житлових кварталів, навчальних закладів, лікарень або об'єктів з потенційною вразливістю. Інтеграція ГІС із базами даних дозволяє не лише будувати маршрути, а й здійснювати їх оцінку в режимі реального часу. У поєднанні з транспортними симуляторами (наприклад, PTV Visum, Aimsun) можливо проводити оцінку сценаріїв перевезень з урахуванням змін у дорожній ситуації, погодних умов або виникнення надзвичайних подій.

На етапі практичної реалізації перевезень важливого значення набуває метод супроводження вантажу, що включає як технічні (GPS-моніторинг, системи попередження про аварії), так і організаційні засоби (інструктаж водіїв, взаємодія з

поліцією, готовність аварійних служб). У деяких випадках доставка реалізується за допомогою конвоїв або під наглядом спеціальних інспекцій. Такий підхід застосовується при перевезенні особливо небезпечних вантажів, що належать до класів 1, 2, 6 та 7 за класифікацією ADR.

Окремим напрямом є розробка адаптивних методів, які враховують змінну транспортну ситуацію та дають змогу перебудовувати маршрут у разі виявлення перешкод, перевантажень або позаштатних ситуацій. Ці методи базуються на принципах інтелектуального транспортного управління та вимагають інтеграції в загальноміські ІТС (інтелектуальні транспортні системи). Завдяки ним можливо досягти високого рівня керованості перевезення, мінімізуючи ймовірність інцидентів у динамічно змінному міському середовищі.

Таким чином, вибір методу доставки небезпечних вантажів у міському сполученні повинен здійснюватися з урахуванням конкретних умов: характеру вантажу, щільності міської забудови, наявної інфраструктури, логістичних вимог та чинної нормативно-правової бази. Оптимальним є поєднання кількох методів із пріоритетом на дотримання принципів транспортної безпеки, екологічної відповідальності та оперативного реагування у разі загроз.

У сучасних умовах підвищеної урбанізаційної щільності та ускладнення транспортної інфраструктури міст, забезпечення безпечної доставки небезпечних вантажів вимагає впровадження високотехнологічних засобів підтримки прийняття рішень. Одним із таких засобів є геоінформаційні технології (ГІС), які дозволяють здійснювати просторове планування, аналіз ризиків та оперативний моніторинг перевезень небезпечних вантажів в умовах міського середовища. Застосування ГІС у цьому контексті дозволяє поєднати географічну інформацію з логістичними та нормативними параметрами, що значно підвищує ефективність управління процесом доставки.

Основною перевагою використання геоінформаційних систем є можливість багаторівневого аналізу міського простору з урахуванням небезпечних зон, маршрутної доступності, характеристик вулично-дорожньої мережі, щільності забудови та наявності соціально важливих об'єктів. За допомогою ГІС формуються цифрові карти з визначенням зон ризику, таких як школи, лікарні, житлові масиви, парки та інші громадські території, де рух транспортних засобів з небезпечними вантажами повинен бути обмеженим або забороненим. Просторова локалізація цих зон дає змогу будувати безпечні маршрути, що уникають їхнього перетину або мінімізують час перебування поблизу них.

Крім того, ГІС-технології дозволяють моделювати потенційні наслідки транспортних аварій, враховуючи не лише геометрію дорожньої мережі, а й метеоумови, рельєф місцевості, наявність водних об'єктів або джерел вогню. Таке моделювання є необхідним для оцінки ризиків і подальшої розробки сценаріїв реагування у разі надзвичайної ситуації. Наприклад, модулі просторового аналізу в системах ArcGIS, QGIS або MapInfo дозволяють розрахувати радіус ураження при аварійному викиді небезпечної речовини з урахуванням швидкості вітру, температури повітря та інших чинників. Інтеграція геоінформаційних систем з даними GPS-моніторингу дозволяє здійснювати оперативний супровід транспорту, відстежувати маршрут у реальному часі та своєчасно реагувати на відхилення від запланованої траєкторії. У разі виявлення непередбачених затримок, змін дорожньої ситуації або аварійних загроз ГІС-платформи можуть автоматично запропонувати альтернативні маршрути, що задовольняють вимоги безпеки. Впровадження такого підходу підвищує гнучкість логістичної системи та мінімізує людський фактор у

прийнятті критичних рішень. Особливу роль ГІС відіграють на етапі стратегічного планування транспортних операцій. За допомогою геоінформаційного аналізу можна визначити оптимальне розміщення терміналів для обслуговування небезпечних вантажів, обґрунтувати потребу у створенні спеціалізованих маршрутів або зон контролю, а також розробити транспортні схеми з урахуванням чинних обмежень і нормативів. У рамках сталого розвитку міст ГІС також застосовується для оцінки впливу перевезень на екологічний стан територій, допомагаючи запобігти концентрації шкідливих викидів у чутливих зонах. Таким чином, використання геоінформаційних технологій є невід'ємною складовою сучасної системи організації перевезень небезпечних вантажів у міському сполученні. Вони забезпечують високий рівень інформованості, безпеки, адаптивності та відповідності вимогам державних та міжнародних стандартів. Подальший розвиток таких технологій у поєднанні з інтелектуальними транспортними системами та автоматизованими засобами моніторингу дозволить забезпечити не лише ефективне функціонування логістичних ланцюгів, але й збереження життя, здоров'я та довкілля в умовах зростаючої урбанізації.

Важливу роль у забезпеченні перспектив застосування сучасних методів доставки відіграє нормативно-правове середовище. Україна є стороною Європейської угоди про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ADR), однак впровадження її положень у міське регулювання потребує удосконалення локальної нормативної бази, зокрема в частині визначення зон обмеженого руху, вимог до маршрутів, організації попереджувального інформування та реагування на інциденти.

У перспективі застосування сучасних методів доставки небезпечних вантажів має орієнтуватися на комплексну модель, яка враховує взаємодію логістичних, інформаційних, інженерних та адміністративних рішень. Пріоритет має надаватися таким підходам, які забезпечують мінімізацію ризику для населення та довкілля, при цьому не створюючи надмірного навантаження на логістичні ланцюги. В умовах цифрової трансформації міського управління важливо формувати інтегровані платформи прийняття рішень, що дозволяють забезпечити не лише безпеку, а й сталий розвиток транспортної інфраструктури.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що доставка небезпечних вантажів автомобільним транспортом у межах міського середовища потребує застосування спеціалізованих методів організації перевезень, орієнтованих на мінімізацію ризиків для населення, інфраструктури та довкілля. В умовах високої щільності забудови, інтенсивного трафіку та наявності соціально чутливих об'єктів, традиційні логістичні рішення виявляються недостатньо ефективними й вимагають адаптації до особливостей міського простору. Визначено, що ефективна організація доставки небезпечних вантажів у містах України можлива лише за умови поєднання сучасних технологічних засобів з належною нормативно-правовою підтримкою, розробкою локальних правил руху, оновленням інфраструктури та формуванням єдиного інформаційного простору взаємодії перевізників, контролюючих органів та служб оперативного реагування.

### Література

1. Verter, V., & Kara, B. Y. (2001). A GIS-based framework for hazardous materials transport risk assessment. *Risk Analysis*, 21(6), 1109–1120. <https://doi.org/10.1111/0272-4332.216179>

2. Tomasoni, A. M., Sacile, R., Zero, E., & Soussi, A. (2024). Risk model for monitoring road safety assessment in the transportation of dangerous goods: A case study of emerging GIS data in Italian regions. *SSRN*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4802922>

3. Nikolaos Vagiokas, et al. (2021). Tool for analyzing the risks in dangerous goods transportation. *Transport Research Procedia*, (preprint).

4. Bonvicini, S., & Spadoni, G. (2008). A hazmat multi-commodity routing model satisfying risk criteria: A case study. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 21(4), 345–358.

УДК 656.072

## **ОЦІНКА ЯКОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ НА МІСЬКОМУ МАРШРУТІ №7 «ВУЛ. 12-ГО КВІТНЯ – СХІДНА»**

Студ. Харіна Є.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Рівень транспортного обслуговування населення є одним із ключових показників якості життя у містах та важливим фактором сталого розвитку міської інфраструктури. Ефективна система пасажирських перевезень забезпечує не лише зручність пересування, а й сприяє зменшенню заторів, зниженню рівня шкідливих викидів та оптимізації використання міського простору [1-4]. У цьому контексті особливу увагу необхідно приділяти аналізу та вдосконаленню маршрутної мережі громадського транспорту, зокрема з урахуванням потреб пасажирів, дотримання розкладу руху, комфортності поїздок та рівня навантаження на транспортні засоби. Маршрут №7 «Вул. 12-го Квітня – Східна» є одним із важливих елементів системи громадського транспорту міста, обслуговуючи житлові, навчальні, медичні та ділові райони. Незважаючи на його значну роль у щоденному транспортному забезпеченні населення, останніми роками спостерігаються ознаки зниження рівня задоволеності пасажирів, що обумовлено нерегулярністю руху, перенавантаженням у години пік та зношеністю рухомого складу. Актуальність даного дослідження полягає в необхідності об'єктивної оцінки якості транспортного обслуговування з метою виявлення проблемних аспектів функціонування маршруту та пошуку шляхів їх вирішення. Це особливо важливо в умовах зростаючих вимог до комфортності та безпеки перевезень, а також у контексті впровадження інтелектуальних транспортних систем і цифрових інструментів управління пасажиропотоками.

Метою дослідження є комплексна оцінка якості транспортного обслуговування пасажирів на міському маршруті №7 на основі сегментування попиту та визначення техніко-експлуатаційних показників. Результати аналізу можуть бути використані для розробки пропозицій щодо покращення організації руху та підвищення якості надання транспортних послуг у місті.

Аналіз техніко-експлуатаційних показників є важливою складовою при оцінці ефективності функціонування міського пасажирського транспорту. Особливої актуальності цей етап набуває у процесі вдосконалення технологічного процесу перевезень, коли необхідно обґрунтувати доцільність змін у розкладах, схемах маршрутів, складі рухомого складу або принципах організації руху. Автобусний маршрут №7 «Вул. 12-го Квітня – Східна» виконує значну соціальну функцію, забезпечуючи транспортну доступність для мешканців віддаленого мікрорайону. Для оцінки його роботи було проведено натурні спостереження, результати яких дозволили отримати об'єктивну інформацію про фактичні умови