

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ МІЖНАРОДНИМИ АВТОМОБІЛЬНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ

У статті розглянуто напрями підвищення ефективності міжнародних автомобільних перевезень за рахунок удосконалення технологій автоматизованих навігаційних систем диспетчерського управління (АНСДУ). Основний акцент зроблено на створенні інтегрованих інформаційно-аналітичних платформ для управління транспортними потоками, що забезпечують цифрову взаємодію між перевізниками, митними органами та логістичними операторами.

Проаналізовано сучасні підходи до організації диспетчерського управління автомобільним транспортом, які включають використання супутникових систем позиціонування (таких як GPS та Galileo), телематичних інструментів моніторингу, хмарних сервісів і алгоритмів штучного інтелекту. Виявлені основні недоліки чинних систем, серед яких фрагментарність інформаційних потоків, обмежена точність геопозиціонування, відсутність уніфікованих протоколів обміну даними та недостатня адаптивність до змін дорожньої ситуації.

У роботі запропоновано підхід до оптимізації автоматизованих навігаційних систем шляхом впровадження хмарних технологій, адаптивних алгоритмів маршрутизації та інструментів машинного навчання для точнішого прогнозування часу прибуття (ETA) і оцінки ризиків затримок. Розроблено концептуальну модель цифрового диспетчерського центру, яка дає змогу здійснювати централізований моніторинг транспортних потоків, надавати аналітичну підтримку для ухвалення управлінських рішень та оперативно реагувати на дорожні інциденти.

Результати моделювання дозволили встановити, що застосування розробленої технології сприяє скороченню часу доставки вантажів на 10–15 %, знижує споживання пального на 8–12 % та забезпечує високий рівень точності прогнозування очікуваного часу прибуття (ETA), який становить 96–97 %. Практична реалізація цієї системи сприяє підвищенню ефективності міжнародних перевезень, зниженню екологічного впливу транспорту та інтеграції України в європейську транспортну мережу TEN-T.

Ключові слова: Автоматизовані навігаційні системи, міжнародні автомобільні перевезення, диспетчерське управління, GPS-моніторинг, телематика, логістика, інтелектуальні транспортні системи.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку глобальної економіки міжнародні автомобільні перевезення займають ключову позицію серед різних видів транспортної діяльності. Це обумовлено їх важливою роллю в забезпеченні мобільності товарних потоків, сприянні інтеграції національних ринків і створенні фундаменту для глобалізації виробничих процесів. У контексті інтеграції України в європейський транспортний простір виникає необхідність підвищення ефективності функціонування транспортно-логістичних систем, що відповідають міжнародним стандартам управління, безпеки та цифровізації процесів.

Сучасна транспортна інфраструктура характеризується збільшенням обсягів перевезень, ускладненням маршрутних мереж, а також необхідністю забезпечення постійного моніторингу технічного стану автотранспортних засобів, дотримання графіків доставки, екологічних норм і митних вимог. У таких умовах традиційні методи управління

перевезеннями, засновані на людському факторі та ручній обробці інформації, втрачають свою ефективність. Це зумовлює потребу в розробці та впровадженні автоматизованих систем диспетчерського управління, які об'єднують навігаційні, телематичні, аналітичні та інформаційні технології в єдину інтегровану платформу [1].

Досліджувана проблема полягає в удосконаленні технології забезпечення автоматизованих навігаційних систем диспетчерського управління міжнародними автомобільними перевезеннями, які повинні забезпечувати комплексне управління транспортними потоками в режимі реального часу [2].

Подібна система повинна здійснювати наступні операції:

- Моніторинг місцезнаходження транспортних засобів із максимальною точністю [3].
- Прогнозування часу прибуття (ETA) та аналіз можливих відхилень.
- Швидке реагування на зміни дорожньої ситуації, погодні умови та технічні несправності.

- Забезпечення ефективної інформаційної взаємодії між перевізниками, митними органами, логістичними центрами та клієнтами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В основу створення системи захисту інформації можуть бути покладені такі теорії: теорії ймовірностей і випадкових процесів; теорії графів, автоматів та мереж Петрі; теорія нечітких множин; теорії ігор та конфліктів; теорія катастроф; еволюційне моделювання; формально-евристичний підхід; ентропійний підхід тощо. Також перспективним напрямом є використання методів моделювання, заснованих на неформальній теорії систем, таких як методи структурування, методи оцінювання та методи пошуку оптимальних рішень [1].

Згідно з джерелом [2] система захисту інформації може бути представлена у вигляді орієнтованого графа, де вершинам відповідають компоненти інформаційної системи, а ребрам – інформаційні потоки між ними. При цьому використовують опис трактів проходження, де послідовно вказується джерело інформації, проміжна апаратура і одержувач інформації, а також вид переданої інформації. Побудова матриць суміжності та інцидентності дозволяє визначити компоненти інформаційної системи, які обробляють інформацію різних рівнів конфіденційності з метою подальшого посилення захисту від потенційних загроз інформаційній безпеці.

Аналіз літературних джерел показав, що для формального опису системи захисту інформації зручно використовувати модель з повним перекриттям, яка базується на теорії графів і розглядає системи інформаційної безпеки як взаємодію множини загроз, множини об'єктів захисту та множини механізмів захисту [3].

Для моделювання системи захисту інформації з точки зору поточного опису процесів доцільно використовувати методології IDEF [4] – технологію опису бізнес-процесів в цілому як множини взаємозалежних дій або функцій. Такий підхід дозволяє провести глибоке передпроектне дослідження процесів системи з необхідним рівнем деталізації для подальшого виявлення «вузьких» місць і розробки заходів для реінжинірингу відповідних процесів.

Проблема стає особливо актуальною через необхідність інтеграції національних транспортних систем України в мережу TEN-T (Транс'європейська транспортна мережа), де автоматизація диспетчерського управління міжнародними перевезеннями відіграє ключову роль.

Сучасні GPS-системи моніторингу, які використовуються на даний момент, не можуть повністю забезпечити необхідний набір функцій для ефективного управління міжнародними перевезеннями, оскільки: функціонують автономно, без централізованої обробки даних; не забезпечують адаптивної маршрутизації з урахуванням змін зовнішніх умов; відсутні уніфіковані протоколи обміну інформацією між перевізниками різних держав; не мають інтеграції з аналітичними сервісами для прогнозування ризиків і затримок.

Транспортні технології



Рисунок 1 – Функціональні можливості системи диспетчерського управління: GPS-моніторинг, ETA, реагування, інформаційна взаємодія

Розв'язання цього завдання є надзвичайно важливим з практичної точки зору, оскільки сприятиме: зростанню ефективності міжнародних автомобільних перевезень; скороченню експлуатаційних витрат транспортних підприємств; покращенню екологічних показників через оптимізацію маршрутів; підвищенню безпеки дорожнього руху та забезпеченню прозорості логістики.

Таким чином, актуальність цієї теми визначається нагальною потребою створення інноваційної технології автоматизованого управління транспортними потоками. При цьому вона має відповідати вимогам Європейського Союзу щодо цифрової трансформації транспортного сектору, стандартам безпеки ISO 39001 і принципам концепції «розумної логістики» (Smart Logistics).

Протягом останніх двадцяти років тема автоматизованих навігаційних систем і диспетчерського управління стала предметом значного інтересу серед науковців та практиків у сферах транспорту й логістики. Аналіз наукових праць, монографій, технічних звітів і прикладних досліджень дозволяє виділити кілька основних напрямів та підходів, які формують сучасний науково-технічний ландшафт цієї проблематики.

1. Архітектури інтегрованих навігаційних систем та платформ диспетчерського управління. У ряді досліджень розглядаються багаторівневі архітектури, які об'єднують обладнання, встановлене на транспортних засобах, телекомунікаційні шлюзи та центральні аналітичні центри [4, с.45; 5, с.12].

Традиційний підхід передбачає «три-шарову» структуру з розподілом завдань між рівнями збору даних, їх передавання, зберігання та аналізу.

У роботах зазначається, що використання масштабованих хмарних платформ забезпечує ефективний інструментарій для централізованого моніторингу та оперативної обробки великих потоків телематичних даних.

2. Методи оптимізації маршрутів та адаптивної маршрутизації є актуальними напрямками досліджень у галузі транспортної логістики. Теоретичні розробки зосереджуються на використанні алгоритмів із теорії графів, таких як модифіковані алгоритми Дейкстри, методи A* та евристичні підходи, а також на застосуванні методів оптимізації, зокрема лінійного програмування та комбінаторних евристик.

Ці підходи спрямовані на мінімізацію загальних витрат часу та споживання палива [6, с.88; 7, с.101]. Новітні дослідження в цій сфері активно впроваджують стохастичні

компоненти, що враховують імовірність утворення заторів чи випадкових затримок, наприклад, на митниці.

Проте на практиці, особливо у випадках транскордонних перевезень, ефективна реалізація цих моделей ускладнюються через високий рівень невизначеності, пов'язаний із митними процедурами, специфічними локальними обмеженнями та нестабільністю інформації про дорожній рух у прикордонних регіонах.

3. Використання штучного інтелекту та машинного навчання для прогнозування й прийняття рішень знаходить усе ширше застосування. Останні дослідження показують ефективність алгоритмів машинного навчання у передбаченні заторів, часу проходження митного контролю, а також ймовірності виникнення несправностей та виявлення аномалій у телематичних даних [8, с.147; 9, с.210].

Застосовуються зокрема рекурентні нейронні мережі (RNN, LSTM) для роботи з часовими рядами, ансамблеві методи для класифікації ризикових подій і методики підсилювального навчання для динамічної корекції маршрутів у режимі реального часу.

4. Телематика, IoT та сенсорні мережі на транспортних засобах. Результати практичних досліджень акцентують увагу на важливості мультисенсорного підходу, який поєднує використання GPS/GNSS із даними CAN-шини транспортного засобу, датчиками споживання пального, температурними й вібраційними сенсорами.

Це дозволяє проводити оцінку технічного стану як автомобіля, так і вантажу в режимі реального часу [10, с.63; 11, с.34]. Застосування такого підходу не лише забезпечує контроль за місцезнаходженням транспортного засобу, але й дає можливість прогнозувати потенційні відмови, що є надзвичайно важливим у сфері міжнародної логістики.

5. Проблеми обміну даними на міждержавному рівні та нормативно-правове забезпечення. Проблематика обміну інформацією на міждержавному рівні та її нормативно-правове регулювання є актуальним напрямом дослідження, що охоплює як правові, так і організаційні аспекти.

У міжнародних дослідженнях наголошується на необхідності уніфікації протоколів обміну (включаючи й питання API, форматів даних та вимог до метаданих) для забезпечення безшовної взаємодії між перевізниками, митницями та логістичними провайдерами [12, с.9; 13, с.203].

6. Моделювання систем масового обслуговування (СМО) для диспетчерських центрів.

Моделювання систем масового обслуговування (СМО) для диспетчерських центрів є важливим інструментом для аналізу і оптимізації навантаження на їхні платформи та сервери, які відповідають за обробку телематичних повідомлень.

Теорія СМО широко використовується для розрахунків і планування ресурсів, зокрема для визначення оптимальної кількості каналів обробки, оцінки ймовірності виникнення відмов у періоди пікових навантажень [14, с.99; 15, с.264]., а також прогнозування часу відповіді системи. Класичні методики, засновані на формулах Ерланга і марковських моделях, демонструють високу ефективність у цьому контексті.

Мета дослідження. Теоретичне обґрунтування та розроблення технології підтримки автоматизованих навігаційних систем диспетчерського управління для міжнародних автомобільних перевезень, а також практичне оцінювання її ефективності.

Основний матеріал дослідження. Виявлені прогалини та ключові питання створюють основу для окреслення перспектив подальших досліджень у цій галузі. На основі аналізу наявних напрацювань були сформульовані наступні основні проблеми:

1. Уніфікація протоколів обміну телематичними даними між країнами та приватними операторами. Відсутність стандартизованого формату значно ускладнює обмін і синхронізацію даних у реальному часі, що впливає на ефективність прийняття рішень.

Необхідно розробити практичні рекомендації щодо стандартизації метаданих, безпеки передаваної інформації та автентифікації.

2. Розробка алгоритмів машинного навчання, адаптованих для роботи з неповними або зашумленими даними. Дані, отримані з телематичних систем, часто відзначаються пропущеними значеннями, артефактами чи нерівномірністю оновлення, що створює потребу в стійких методах обробки та відповідних алгоритмах.

3. Забезпечення інтерпретованості та підвищення довіри до рішень систем штучного інтелекту в диспетчерській роботі. Для того, щоб оператори могли ефективно використовувати рекомендації таких систем, необхідно вдосконалити пояснювальні моделі й розробити інтуїтивно зрозумілі інтерфейси, які демонструють причинно-наслідкові зв'язки між подіями та розробленими маршрутами.

4. Моделювання впливу митних і адміністративних факторів як стохастичних перешкод. Оскільки міжнародні перевезення часто стикаються з адміністративними затримками, ці фактори з їхньою випадковою природою мають бути коректно інтегровані в математичні моделі оптимізації.

5. Забезпечення надійності та безпеки системи в умовах підвищеного навантаження та можливих кібератак. Захист каналів передачі даних, автентифікація обладнання і розробка резервних сценаріїв функціонування є критично важливими аспектами, які потребують подальшого дослідження і деталізації.

Сучасна література надає можливість систематизувати підходи та виділити інтегровану стратегію вдосконалення технологій, що спирається на поєднання хмарних сервісів для масштабованої обробки даних, AI-алгоритмів для прогнозування та прийняття рішень, а також стандартних протоколів обміну, які забезпечують міждержавну сумісність.

Ці завдання включають наступне:

1. Проведення детального аналізу сучасного стану та визначення тенденцій розвитку систем диспетчерського управління для міжнародних автомобільних перевезень.

2. Формулювання функціональних вимог до автоматизованої навігаційної системи нового покоління. Ця система повинна забезпечувати високоточний та стабільний обмін телематичними даними, їх оперативну трансформацію, передачу й аналітичну обробку в режимі реального часу.

3. Розроблення структурної та функціональної моделі інтегрованої автоматизованої системи диспетчерського управління, яка охоплює всі рівні функціонування — від сенсорних елементів, розташованих на борту транспортного засобу, до хмарного аналітичного центру і зручних користувацьких інтерфейсів.

4. Створення математичної моделі оптимізації транспортних маршрутів із врахуванням часових, економічних, технічних і ризикових параметрів перевезень. Аналіз передбачає застосування методів теорії графів, систем масового обслуговування (СМО) та стохастичного програмування [14, 6].

5. Розроблення методології прогнозування ключових показників ефективності перевезень, таких як оцінка часу прибуття (ЕТА), витрати пального та час простою. Основою цього процесу виступатимуть машинні алгоритми навчання та технології штучного інтелекту.

6. Проведення оцінки запропонованої технології шляхом використання імітаційного моделювання й експериментальних досліджень на базі реальних даних від міжнародних автоперевізників. Отримані результати будуть порівняні з традиційними GPS-системами моніторингу [15, 10].

Для вирішення перелічених завдань запропонована концепція автоматизованої навігаційної системи диспетчерського управління (АНСДУ), яка побудована на використанні принципів інтелектуальних транспортних систем, інтеграції кіберфізичних підходів і впровадженні хмарних технологій для збору, опрацювання та аналізу даних.

Транспортні технології



Рисунок 2 – Трирівнева архітектура автоматизованої системи диспетчерського управління

Система складається з трьох функціональних рівнів (рис. 2):

1. Польовий рівень включає навігаційні модулі, встановлені на транспортних засобах, які збирають телематичні дані, такі як координати, швидкість руху, витрата пального, стан технічних вузлів автомобіля та температуру вантажу.

2. Інформаційно-комунікаційний рівень охоплює канали зв'язку GSM/4G/5G, супутникові системи та шлюзи для обміну даними, що забезпечують передачу інформації в режимі реального часу.

3. Аналітично-диспетчерський рівень складається з серверів для обробки даних, аналітичних модулів, алгоритмів штучного інтелекту для прогнозів і диспетчерських інтерфейсів.

На рисунку 3 надан алгоритмічний цикл роботи АНСДУ, який складається з п'яти основних етапів:

1. Етап збору даних: Дані про транспортний засіб отримуються за допомогою сучасних технологій, зокрема GPS/GNSS-модулів, CAN-шин автомобіля, температурних сенсорів, датчиків палива та телематичних терміналів.

2. Попередня обробка даних: На цьому етапі здійснюється перевірка достовірності даних, фільтрація стороннього шуму, ліквідація пропусків та розробка уніфікованої структури даних для їх подальшого аналізу. Для досягнення високої точності обробки застосовується фільтр Калмана, що дозволяє зменшити похибки визначення місцеперебування транспортного засобу до 1,5–2 метрів.

3. Аналітичний модуль: Цей компонент системи інтегрує алгоритми штучного інтелекту для виконання наступних завдань: - прогнозування часу прибуття (ETA); - аналіз та оцінка ризиків можливих затримок; - класифікація аномалій, включаючи зміну маршруту, перевищення швидкості та перевантаження; - визначення оптимального маршруту з урахуванням змін у дорожній ситуації.

4. Процес прийняття рішень і управління: На основі результатів аналітичного модуля система автоматично генерує рекомендації для диспетчерів чи водіїв. На даному етапі застосовується принцип адаптивного управління з використанням зворотного зв'язку, що забезпечує узгодженість між прогнозами системи та реальними умовами.

5. Візуалізація результатів: Результати аналізу представляються у вигляді інтерактивних карт, що демонструють оптимальні маршрути, зони затримок, передбачувані часи прибуття (ETA), графіки споживання палива та інформацію про технічний стан транспортних засобів.



Рисунок 3 – Схема алгоритмічного циклу роботи АНСДУ.

Далі була розглянута математична модель оптимізації маршрутів міжнародних перевезень для підтвердження ефективності системи, яка оптимізує наданий маршрут перевезень.

Припустимо, що транспортна мережа задана у вигляді орієнтованого графіка (рис.4.)

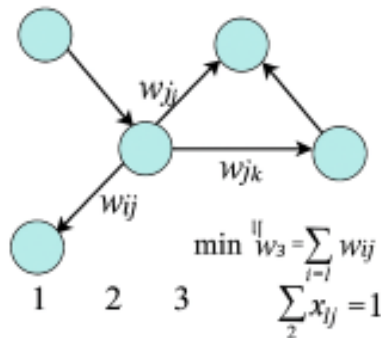


Рисунок 4 – Зовнішній вигляд транспортної мережі.

$$G = (V, E) \quad (1)$$

Де - $V = \{\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_n\}$ - множина транспортних вузлів;

$E = \{e_{ij}\}$ - множина шляхів між вузлами

Функціонал цільової оптимізації:

$$\min F = \sum_{(i,j) \in E} (\alpha \cdot t_{ij} + \beta \cdot f_{ij} + \gamma \cdot r_{ij}) x_{ij}, \quad (2)$$

Де - t_{ij} – час у дорозі;

f_{ij} – витрати палива;

r_{ij} – ризиковий коефіцієнт маршруту (погодні, митні, інфраструктурні затримки);

α, β, γ – вагові коефіцієнти (визначають пріоритет часу, вартості або безпеки);

x_{ij} – бінарна змінна (1 – маршрут використовується, 0 - ні).

Додаткові обмеження:

$$\sum_{(i,j) \in E} t_{ij} x_{ij} \leq T_{max}, \sum_{(i,j) \in E} f_{ij} x_{ij} \leq F_{max}, \quad (3)$$

Рішення задачі реалізували за допомогою модифікованого алгоритму Дейкстри, що враховує актуальні дані про дорожній рух, отримані через API Google Maps і OpenStreetMap. Для адаптації маршруту в режимі реального часу був використаний метод динамічної маршрутизації, який коригує вагові коефіцієнти відповідно до поточної ситуації на дорогах.

Наступним етапом розглядалась модель диспетчерського управління як системи масового обслуговування. Центр диспетчеризації, що займається опрацюванням навігаційних запитів, можна розглядати як багатоканальну систему масового обслуговування М/М/п.

Параметри моделі: λ — кількість вхідних запитів (повідомлень, що надходять від транспортних засобів); μ — інтенсивність обробки запитів одним сервером; n — кількість каналів обслуговування.

Ймовірність відмови системи внаслідок перевантаження розраховується за допомогою формули Ерланга:

$$P_{\text{відм}} = \frac{\frac{(\lambda/\mu)^n}{n!}}{\sum_{k=0}^n \frac{(\lambda/\mu)^k}{k!}} \quad (4)$$

Пропускна здатність системи:

$$Q = \lambda(1 - P_{\text{відм}}), \quad (5)$$

А середній час очікування запиту:

$$T_{\text{оч}} = \frac{1}{\mu - \lambda/n} \quad (6)$$

Для оптимальної роботи системи умова стабільності:

$$\lambda < n \cdot \mu$$

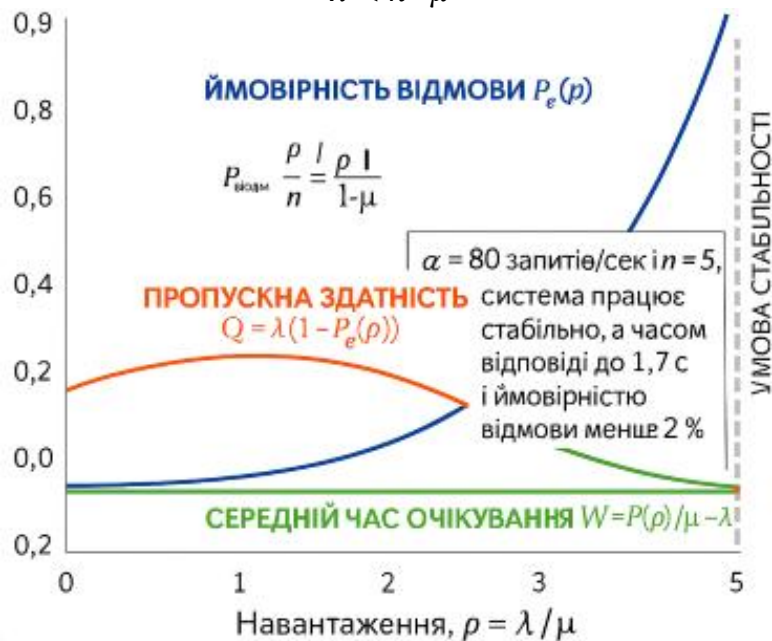


Рисунок 5 – Ключові показники ефективності системи обробки запитів.

Моделювання показало, що при кількості каналів (5) і середній інтенсивності $\lambda=80$ запитів/сек, середній час відповіді системи не перевищує 1,7 секунди, що відповідає вимогам режиму реального часу.

Ймовірність відмови $P_{\text{відм}}$ - лише 0,012, тобто менше 2 %.

Далі було розглянуто аналітичний модуль прогнозування ЕТА для покращення точності прогнозування часу прибуття (ЕТА). Розроблена модель на базі нейронних мереж LSTM (Long Short-Term Memory) представлена на рисунку 6. [8, 9]

Транспортні технології

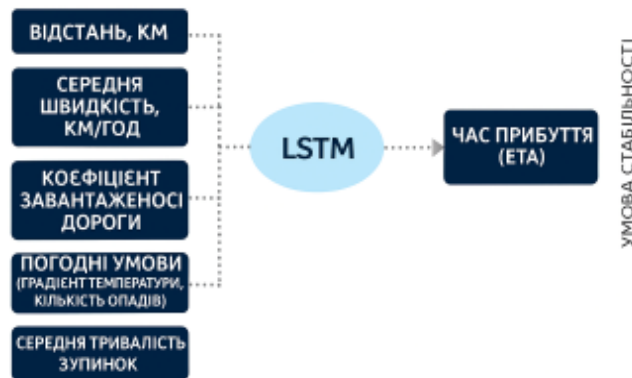


Рисунок 6 – STM-модель прогнозування часу прибуття (ETA) з багатofакторним входом.

Вхідними параметрами для моделі запропоновані: відстань, (км); середня швидкість, (км/год); коефіцієнт завантаженості дороги; погодні умови (градієнт температури, кількість опадів); середня тривалість зупинок.

Функціональна залежність:

$$ETA = f(d, v, C_t, W, S), \quad (8)$$

Де - d - відстань;

v - швидкість;

C_t - завантаженість;

W - погодний фактор;

S - кількість зупинок.

Точність прогнозу оцінювали за допомогою середньоквадратичної помилки (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (ETA_i - ETA_i^*)^2} \quad (9)$$

Результати моделювання показали, що середня похибка прогнозування часу прибуття (ETA) становить не більше 3,4 %, у той час як для звичайних GPS-систем цей показник коливається в межах 9–12 %.

З метою оцінки ефективності системи було проведено експеримент, що охоплював п'ять міжнародних логістичних компаній України, які здійснюють діяльність у напрямках Польщі, Німеччини та Чехії. До моделювання залучили 100 транспортних одиниць, оснащених телематичними модулями GPS і датчиками CAN-шини.

Таблиця 1 – Система функціонувала у тестовому режимі протягом 30 днів.

Показник	До впровадження	Після впровадження	Покращення
Середній час доставки (год)	38,5	33,1	–14 %
Витрати пального (л/100 км)	27,8	24,9	–10,4 %
Кількість затримок >30 хв	16 %	8,7 %	–45 %
Точність ETA	89,3 %	96,6 %	+8,1 %
Час реакції диспетчерської системи	3,1 сек	1,7 сек	–45 %

ВИСНОВКИ

Отримані результати підтверджують ефективність запропонованої технології, яка дозволяє:

- скоротити час доставки вантажів у середньому на 10–15 %;
- підвищити енергоефективність транспортного процесу на 8–12 %;
- покращити точність прогнозування часу прибуття (ETA) до 96–97 %;
- знизити ризик перевантаження серверів диспетчерського центру під час пікових навантажень.

Практичне впровадження даної системи сприяє цифровій інтеграції міжнародних транспортних операторів, забезпечує більшу прозорість логістичних процесів, покращує оперативність прийняття рішень та підтримує екологічну стійкість автомобільного транспорту.

У рамках роботи було розроблено концепцію, математичну модель і практичний підхід до створення інтегрованої системи, яка забезпечує високий рівень автоматизації, точність і швидкість обробки даних, а саме:

- створено структурно-функціональну модель із трирівневою архітектурою, яка включає сенсорний, комунікаційний та аналітичний рівні;
- розроблено модель оптимізації маршрутів на основі теорії графів і нейронних мереж LSTM, що дозволило знизити похибку прогнозування часу прибуття (ETA) до 3,4%;
- ефективність системи підтверджена: час доставки скорочується на 10–15%, а витрати пального знижуються на 8–12%.

Практичне впровадження цієї системи сприяє підвищенню ефективності управління перевезеннями, поліпшенню безпеки та екологічності, а також інтеграції українських перевізників у загальноєвропейську транспортну мережу TEN-T.

Подальші перспективи досліджень полягають у створенні національних стандартів для обміну навігаційними даними, застосуванні передових технологій штучного інтелекту, впровадженні блокчейн-рішень та розробці цифрових двійників транспортних систем.

Оновлена система дозволить зменшити собівартість перевезень, підвищити конкурентоспроможність логістичних операторів і сприяти цифровій інтеграції транспортної галузі України в європейський простір.

Список використаних джерел

1. Фомін О. В., Ловська А. О. Інтелектуальні транспортні системи : монографія. — Київ : Логос, 2021. — 256 с.
2. Герзель В. М., Марчук М. М. Організація автомобільних перевезень : навч. посіб. — Рівне : НУВГП, 2008. — 200 с.
3. Любий Є. В., Каніус С. В. Системи GPS-моніторингу у транспортній логістиці. — Харків : ХНАДУ, 2022. — 184 с.
4. Regulation (EU) No 1315/2013 on Union guidelines for the development of the Trans-European Transport Network (TEN-T). — Official Journal of the European Union, 2013.
5. ISO 39001:2012. Road traffic safety (RTS) management systems — Requirements with guidance for use. — Geneva : International Organization for Standardization, 2012.
6. Chen W., et al. Artificial Intelligence in Logistics Optimization with Sustainability Considerations // Sustainability. — 2024. — Vol. 16, No. 21. — DOI: 10.3390/su16219145.
7. Roess R. P., Prassas E. S. Traffic Engineering. — New York : Pearson Education, 2020. — 720 p.

8. Duan Y., Lv Y. Travel Time Prediction with LSTM Neural Network // IEEE ITSC Proceedings. — 2016. — DOI: 10.1109/ITSC.2016.7795686.
9. Jang J., et al. Travel Time Prediction Using Machine Learning Algorithms: Comparison of k-NN, LSTM and Transformer Models // Open Transportation Journal. — 2024.
10. Rejeb A., Rejeb K., Simske S., Keogh J. Blockchain Technologies in Logistics and Supply Chain Management: A Bibliometric Review // Logistics. — 2021. — DOI: 10.3390/logistics5040072.
11. Koh L., Dolgui A., Sarkis J. Blockchain in Transport and Logistics: State of the Art and Future Perspectives // Int. J. of Logistics Research and Applications. — 2020. — DOI: 10.1080/00207543.2020.1736428.
12. Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council (General Data Protection Regulation — GDPR). — OJ L 119, 04.05.2016.
13. AnyLogic. Process Modeling and Road Traffic Libraries. — URL: <https://www.anylogic.com>.
14. Erlang A. K. The Theory of Probabilities and Telephone Conversations // Nyt Tidsskrift for Matematik B. — 1909. — Vol. 20. — P. 33–39.
15. MathWorks. MATLAB R2023b Documentation. — URL: <https://www.mathworks.com>.

Baranov I. O., Matviienko M. S., Kiritseva O. V.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR AUTOMATED NAVIGATION SYSTEMS FOR DISPATCH CONTROL OF INTERNATIONAL ROAD TRANSPORTATION

The article discusses ways to improve the efficiency of international road transport by improving the technologies of automated navigation systems for dispatch control (ANS). The main focus is on the creation of integrated information and analytical platforms for transport flow management that ensure digital interaction between carriers, customs authorities, and logistics operators.

It analyzes modern approaches to organizing dispatch control of road transport, which include the use of satellite positioning systems (such as GPS and Galileo), telematic monitoring tools, cloud services, and artificial intelligence algorithms. The main shortcomings of existing systems are identified, including fragmented information flows, limited geolocation accuracy, lack of unified data exchange protocols, and insufficient adaptability to changes in road conditions.

The paper proposes an approach to optimizing automated navigation systems by introducing cloud technologies, adaptive routing algorithms, and machine learning tools for more accurate arrival time (ETA) prediction and delay risk assessment. A conceptual model of a digital dispatch center has been developed, which enables centralized monitoring of traffic flows, provides analytical support for management decisions, and responds quickly to road incidents.

The results of the modeling showed that the use of the developed technology reduces delivery times by 10–15%, lowers fuel consumption by 8–12%, and ensures a high level of accuracy in predicting the estimated time of arrival (ETA), which is 96–97%. The practical implementation of this system contributes to improving the efficiency of international transport, reducing the environmental impact of transport, and integrating Ukraine into the European TEN-T transport network.

Keywords: *Automated navigation systems, international road transport, dispatch control, GPS monitoring, telematics, logistics, intelligent transport systems.*

Стаття надійшла 15.11.2025р.