

УДК 004.75:004.4'2:629.3.018

DOI: 10.31498/2225-6733.53.1.2026.359764

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ХМАРНООРІЄНТОВАНОЇ ВЕБСИСТЕМИ НА ОСНОВІ СТЕКУ MERN ДЛЯ ПРЕДИКТИВНОЇ ДІАГНОСТИКИ АВТОТРАНСПОРТУ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

**Сергієнко А.В.** канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1328-2572>, e-mail: [sergienko\\_a\\_v@pstu.edu](mailto:sergienko_a_v@pstu.edu);

**Тригуб В.П.** магістр, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, e-mail: [tryhub\\_v\\_p@students.pstu.edu](mailto:tryhub_v_p@students.pstu.edu)

У роботі наведено результати комплексної розробки та апробації хмарноорієнтованого вебсервісу, призначеного для автоматизованого аудиту та предиктивного прогнозування технічного стану автопарку. Програмний продукт реалізовано на основі сучасного технологічного стеку MERN (MongoDB, Express.js, React, Node.js), що забезпечує високу швидкість обробки великих масивів даних та можливість розгортання в ізольованих локальних мережах підрозділів. Ключовою технологічною особливістю системи є інтеграція паливного моніторингу з імовірнісними моделями теорії надійності. В ході дослідження обґрунтовано та впроваджено модифікований алгоритм на основі розподілу Вейбулла-Гнеденка, де параметр масштабу (ресурс) динамічно коригується залежно від індикатора паливної аномалії із застосуванням функції гіперболічного тангенса для нормалізації відхилень. Функціонал сервісу забезпечує повну автоматизацію валідації маршрутних листів, розрахунок нормативних витрат пального з урахуванням складної матриці коригуючих коефіцієнтів та візуалізацію кривих надійності для кожної одиниці техніки в режимі реального часу. Реалізовано інтелектуальний механізм раннього сповіщення про потенційні несправності двигуна та трансмісії на основі виявлених девіацій енергоефективності. Експериментальна верифікація підтвердила високу працездатність обраного архітектурного рішення та стабільність бази даних MongoDB при роботі з неструктурованими логами. Впровадження системи дозволило скоротити час на обробку та перевірку експлуатаційної документації у 7,5 разів. За результатами тестування зафіксовано зростання коефіцієнта технічної готовності (КТГ) парку на 12% та зниження частоти раптових відмов на 18%. Доведено, що використання модифікованих імовірнісних моделей у вебпанелях моніторингу є ефективним інструментом переходу від застарілої планової системи обслуговування до прогресивної стратегії ремонту за фактичним технічним станом. Це дозволяє ідентифікувати деградацію ключових вузлів за 1200–1500 км до моменту їх фактичної відмови, забезпечуючи суттєву економію ресурсів та підвищення боєздатності транспортних підрозділів.

**Ключові слова:** предиктивна діагностика; технічний стан автотранспорту; енергоефективність; витрати пального; розподіл Вейбулла; теорія надійності; хмарноорієнтовані системи; стек MERN; MongoDB; коефіцієнт технічної готовності; автоматизація аудиту; вебсервіс.

### Постановка проблеми

Сучасні медичні заклади все більше залежать від Експлуатація великих автотранспортних парків, зокрема в підрозділах тактичної ланки, вимагає особливої уваги до питань енергоефективності та забезпечення стабільно високого коефіцієнта технічної готовності (КТГ). За даними аналізу предметної області, витрати на пально-мастильні матеріали (ПММ) та технічне обслуговування складають найбільшу частку експлуатаційних витрат підприємств. Неефективне використання пального не лише спричиняє значні фінансові збитки, а й безпосередньо впливає на надійність техніки, оскільки систематичне відхилення фактичного споживання пального від нормативного часто є раннім індикатором прихованих несправностей двигуна або ходової частини.

Однією з ключових причин низької ефективності управління автопарком на рівні кінцевого підрозділу є відсутність автономних та інтелектуальних інструментів моніторингу в режимі реального часу. Традиційні методи контролю, такі як паперові маршрутні листи

або локальні таблиці Excel, характеризуються високим ризиком людського фактора, фрагментарністю даних та неможливістю оперативного прогнозування відмов. Існуючі комерційні GPS-системи та складні ERP-рішення часто є неприйнятними для використання в польових умовах через ризики інформаційної безпеки, залежність від глобальної мережі та надмірну складність налаштування.

Актуальним завданням є розробка автономного хмарноорієнтованого вебсервісу на основі стеку MERN, де автоматизація обліку пального та маршрутів інтегрована з інструментами предиктивної діагностики технічного стану. Створення такої системи, що використовує імовірнісні моделі (зокрема розподіл Вейбулла) для виявлення кореляції між паливною ефективністю та надійністю вузлів, дозволить перейти від реактивного ремонту «після факту відмови» до стратегії «обслуговування за станом».

---

**Аналіз останніх досліджень та публікацій**

---

Питання цифровізації моніторингу автотранспорту та впровадження інтелектуальних систем діагностики сьогодні перебувають у центрі уваги багатьох науковців. Сучасний етап розвитку галузі характеризується переходом від реактивного обслуговування до проактивних стратегій, що базуються на аналізі великих даних та хмарних обчисленнях. Зокрема, у роботі [1] запропоновано модельну структуру прогнозування транспортних засобів з використанням архітектури Big Data, що дозволяє обробляти значні масиви експлуатаційної інформації. Питання інтеграції технічного обслуговування з телематичними системами на основі штучного інтелекту детально розглянуто у дослідженні [2], а практична реалізація інтелектуальних електронних платформ для предиктивного сервісу автотранспорту наведена у [3].

Важливим напрямком є використання хмарних систем для прогнозування залишкового ресурсу компонентів, що особливо актуально для сучасних екологічних видів транспорту [4]. Вітчизняні дослідники також акцентують увагу на необхідності впровадження хмарних рішень для інтеграції та аналізу даних дистанційного моніторингу [5]. Прикладом комплексної вебплатформи для управління обслуговуванням та оптимізації продуктивності авто є система «Auto Track» [6].

Окремий пласт досліджень присвячений енергоефективності як індикатору технічного стану. Машинне навчання активно застосовується для прогнозування споживання пального в реальному часі на основі даних ECU [7]. Аналогічні підходи до аналізу енергоспоживання на основі реальних даних водіння, зокрема для електромобілів, висвітлені у роботі [8].

З точки зору програмної реалізації таких систем, наукова спільнота все частіше звертається до сучасних Full-Stack рішень. Стек MERN (MongoDB, Express.js, React, Node.js) демонструє високу ефективність при розробці вебдодатків [9], що підтверджується досвідом створення модулів інформаційних систем для контролю транспорту [10]. Порівняльний аналіз показує переваги MERN над традиційними стеками (PHP, SQL) у контексті швидкодії та масштабованості [11]. Особливе значення при цьому має стратегія моделювання даних у MongoDB, яка дозволяє гнучко працювати з сигналами підключених транспортних засобів [12].

Для застарілого парку техніки («legacy vehicles») розробляються спеціалізовані інтелектуальні системи обслуговування [13], а загальні інноваційні IoT-рішення для відстеження та догляду за автотранспортом пропонуються у праці [14]. При розробці алгоритмів контролю в Україні обов'язковим є врахування методичних рекомендацій щодо нормування витрат пального та енергії [15], які складають нормативну базу розрахунків. Фундаментальною основою для оцінки надійності в таких системах залишаються імовірнісні

моделі, зокрема розвиток застосування розподілів q-Вейбулла в інженерії надійності [16].

Попри значну кількість розробок, залишається потреба у створенні цілісної хмарноорієнтованої системи, яка б поєднувала гнучкість стеку MERN із прикладними моделями надійності (розподіл Вейбулла), адаптованими до аналізу енергоефективності в реальних умовах експлуатації.

---

**Мета статті**

---

Метою цієї роботи є дослідження методів імовірнісного моделювання надійності техніки та розробка на їх основі автономної хмарноорієнтованої вебсистеми на основі стеку MERN. Розроблена система має забезпечувати автоматизований аудит витрат пального, предиктивну діагностику технічного стану автотранспорту за показниками енергоефективності та підвищення коефіцієнта технічної готовності парку машин у складних умовах експлуатації.

---

**Виклад основного матеріалу**

---

Для вирішення проблеми оперативного управління автопарком та прогнозування його технічного стану було розроблено архітектуру хмарноорієнтованої вебсистеми на основі стеку MERN (MongoDB, Express.js, React, Node.js). Вибір даного технологічного стеку обґрунтовано можливістю створення ізоляованого програмного середовища, що може функціонувати в локальних мережах підрозділів без обов'язкового доступу до глобального інтернету.

Головним компонентом системи є діагностичний модуль, який трансформує показники паливної ефективності в імовірнісні оцінки надійності вузлів автомобіля. Алгоритм функціонування системи включає такі етапи:

- 1) автоматизований збір та імпорт даних про заправки й виїзди до бази даних MongoDB;
- 2) розрахунок девіації пального шляхом порівняння фактичного споживання з нормативним із урахуванням коригуючих коефіцієнтів;
- 3) предиктивний аналіз технічного стану через перерахунок параметрів розподілу Вейбулла на основі виявлених перевитрат;
- 4) візуалізація результатів та формування звітності з прогнозуванням дати досягнення критичного рівня ймовірності відмови.

Розглянемо архітектурне проектування системи. Для реалізації високорівневої логіки обрано архітектурний патерн «клієнт-сервер», де серверна частина на базі Node.js забезпечує обчислювальну потужність, а клієнтська частина на React відповідає за інтерфейс. Структура системи включає наступні елементи:

- Database (MongoDB) – нереляційна база даних для гнучкого зберігання журналів виїздів та технічних характеристик техніки;
- Backend (Express.js) – серверний шар, що реалізує API-ендпоінти та бізнес-логіку обробки запитів;

– Frontend (React) – інтерфейсний шар для візуалізації станів автопарку та взаємодії з користувачем.

Для забезпечення високої швидкості обробки великих масивів даних використано асинхронну модель взаємодії Node.js та Express. Це дозволяє автоматично трансформувати вхідні дані з різних форматів (наприклад, CSV-звіти паливних компаній) у структуровані JSON-об'єкти для подальшого аналізу без помилок парсингу.

Локальне збереження даних реалізовано за допомогою нереляційної моделі MongoDB. Це дозволило відмовитися від складних мапінгів SQL-таблиць на користь гнучких JSON-подібних документів. Основні сутності бази даних включають Vehicles (характеристики техніки), FuelLogs (записи про заправки), Trips (маршрути та пробіг) та DiagnosticResults (результати розрахунків).

Ключовим технічним рішенням є розділення обчислювальних потоків для підтримки стабільної роботи інтерфейсу:

– основний потік клієнтської частини на React відповідає за плавність відображення дашбордів та взаємодію з користувачем;

– фонові процеси на серверній стороні виконують ресурсомісткі математичні розрахунки за імовірнісними моделями та обробку запитів до бази даних.

Програмний комплекс використовує захищене зберігання облікових даних та механізми автентифікації, що запобігає витоку конфіденційної інформації про роботу автопарку. Архітектура спроектована таким чином, що заміна або уточнення математичної моделі діагностики потребує лише оновлення відповідного модуля на сервері, не змінюючи логіку роботи всього веб-сервісу.

Функціональна цілісність системи забезпечується через взаємодію автономних модулів, що утворюють єдине середовище обробки інформації. Архітектурне рішення базується на принципі розподілу відповідальності, що дозволяє ізолювати обчислювальну логіку від процесів зберігання та візуалізації даних.

Основними функціональними блоками системи є (рис. 1):

– модуль прогнозування – ключовий обчислювальний центр, де реалізовано розрахунок ймовірності відмови за Вейбуллом та прогнозування середньомісячного пробігу, він здійснює прямий запит до моделей даних для отримання параметрів зносу та запланованих ремонтів;

– модуль аналітики – відповідає за агрегацію статистичних показників та порівняння фактичних даних із нормативними значеннями. Він інтегрується з моделями маршрутних листів, автомобілів та водіїв для формування цілісної картини експлуатації парку;

– модуль управління маршрутними листами виступає основним джерелом даних, забезпечуючи автоматичну перевірку коректності введених показників та миттєве оновлення інформації про фактичний пробіг автомобіля безпосередньо в момент збереження звітної документації;

Шар даних представлений набором схем MongoDB (Repair Model, Car Model, Route Model, Driver Model), що забезпечують збереження всієї технічної та операційної інформації. Модуль звітності та візуалізації трансформує результати аналізу у графічні тренди та табличні звіти для кінцевого користувача.

Взаємозв'язки між програмними модулями реалізовано через систему залежностей, яка мінімізує зв'язність компонентів.

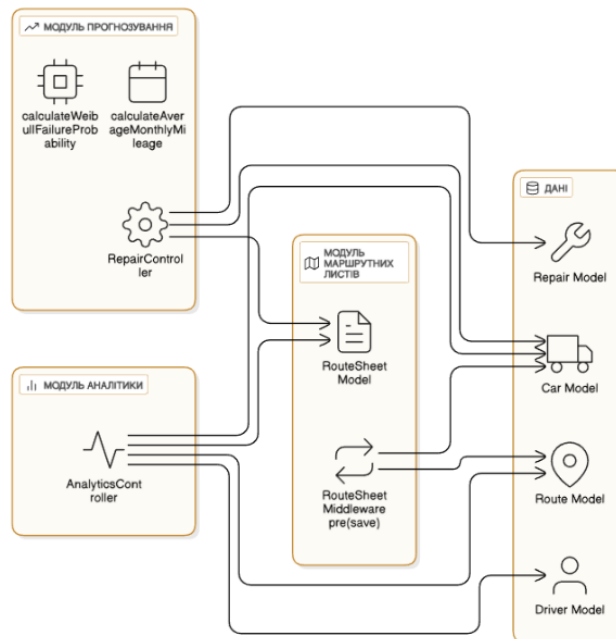


Рис. 1 – Діаграма залежностей між модулями

Наукову новизну розробленого рішення становить алгоритм предиктивної діагностики, що базується на інтегрованому аналізі енергоефективності. Процес оцінки технічного стану реалізовано шляхом послідовного застосування математичних моделей:

1) Розрахунок нормативної бази.

Для кожної одиниці техніки система обчислює нормативне значення витрати пального згідно з методикою, закріпленою у нормативних актах:

$$Q_{norm} = 0.01 \cdot H_S \cdot L \cdot (1 + 0.01 \cdot K_\Sigma) + Q_{add}, \quad (1)$$

де  $H_S$  – базова лінійна норма витрати пального (л/100 км);  $L$  – пробіг автомобіля (км);  $K_\Sigma = \sum_{i=1}^m K_i$  – сумарний коефіцієнт коригування (робота в гірській місцевості, рух у колоні, зимовий період, бездоріжжя тощо);  $Q_{add}$  – додаткова витрата на роботу спецобладнання, прогрів двигуна тощо.

2) Визначення індикатора стану.

На основі порівняння фактичних витрат із розрахованою нормою обчислюється індикатор технічного стану як відсоткову девіацію:

$$I_{ts} = \frac{Q_{fact} - Q_{norm}}{Q_{norm}} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Якщо  $I_{ts} > \delta$  (де  $\delta$  – допустима похибка 3–5%), система діагностує наявність аномалії, що інтерпретується як прискорений знос вузлів.

3) Модифікація імовірнісної моделі.

Для прогнозування ресурсу обрано розподіл Вейбулла-Гнеденка. Ключовою відмінністю розробленого методу є введення кореляційної залежності між параметром масштабу та паливною аномалією. Скоригований параметр масштабу розраховується за формулою:

$$\eta_{mod} = \eta_{pas} (1 - \alpha \cdot \tanh(I_{ts})), \quad (3)$$

де  $\eta_{pas}$  – паспортний ресурс агрегату;  $\alpha$  – коефіцієнт чутливості ( $0 < \alpha < 1$ );  $\tanh()$  – функція гіперболічного тангенса, що нормалізує відхилення та запобігає отриманню від’ємних значень ресурсу.

4) Прогноз надійності.

З урахуванням модифікації, прогнозна ймовірність безвідмовної роботи набуває вигляду:

$$P_{prog}(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta_{mod}}\right)^\beta}, \quad (4)$$

де  $t$  – поточний пробіг,  $\beta$  – параметр форми (для періоду зносу військової техніки  $1,5 < \beta < 3,5$ ).

5) Оцінка боездатності.

Кінцевою метрикою системи є інтегральний коефіцієнт технічної готовності всього підрозділу на плановий період:

$$K_{tg} = \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M P_{prog,i}(T_{plan}), \quad (5)$$

де  $M$  – кількість автомобілів у підрозділі.

Такий підхід дозволяє трансформувати дані паливного аудиту в об’єктивні метрики надійності, забезпечуючи перехід від паперової звітності до реального прогнозування боездатності парку.

Розглянемо процес функціонування розробленого вебсервісу для моніторингу та предиктивної діагностики автопарку.

На першому етапі формується цифрова база об’єктів моніторингу. Після авторизації в системі користувач потрапляє до інтерфейсу управління парком. Процес додавання транспортного засобу передбачає введення технічних характеристик: марки, державного номера, типу двигуна та паспортного ресурсу прас. Реактивний інтерфейс на базі React дозволяє редагувати параметри автомобілів «на льоту», що забезпечує актуальність даних при зміні складу підрозділу.

На другому етапі здійснюється систематичне введення та менеджмент експлуатаційних даних. Основним інструментом збору інформації є реєстр маршрутних листів (рис. 2), реалізований у вигляді інтерактивної таблиці. Інтерфейс дозволяє диспетчеру бачити зведену інформацію по кожному виїзду: державний номер автомобіля, ПІБ водія, дату та статус документа. Функціональні елементи керування (кнопки «Edit» та «Delete») забезпечують оперативне редагування даних. При заповненні конкретного звіту користувач вносить:

- фактичний пробіг ( $L$ );
- обсяг запроваженого та фактично спожитого пального ( $Q_{fact}$ );
- умови експлуатації (коефіцієнти  $K$ ) шляхом вибору відповідних пресетів (зимовий період, бездоріжжя, робота в гірській місцевості).

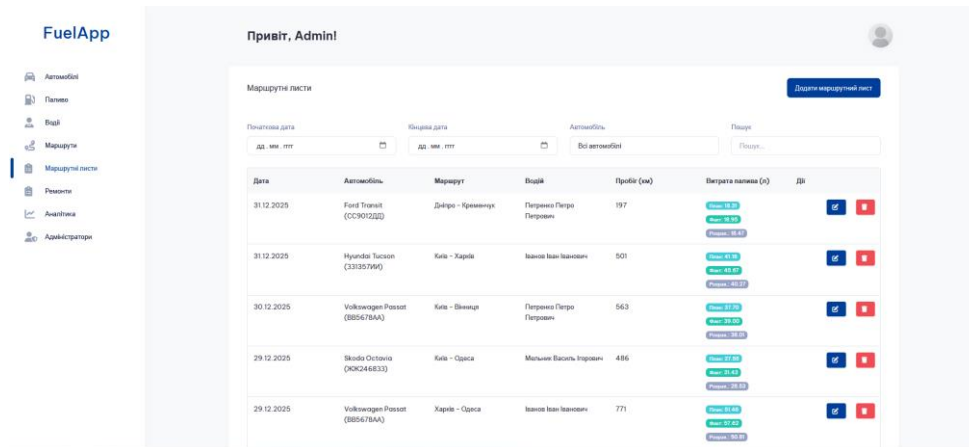


Рис. 2 – Загальний вид вікна управління маршрутними листами

Система автоматично виконує валідацію введених значень, запобігаючи логічним помилкам (наприклад, введенню пробігу, що менший за попередній показник одометра).

На третьому етапі користувач налаштовує параметри аналітичного звіту через головну панель модуля моніторингу (рис. 3). Інтерфейс спроектовано таким

чином, щоб забезпечити максимальну гнучкість аналізу:

- часовий фільтр – дозволяє обрати конкретний період експлуатації для оцінки динаміки зносу;
- селектор об'єктів – надає можливість формувати звіт як по всьому підрозділу, так і по конкретному автомобілю чи водію.

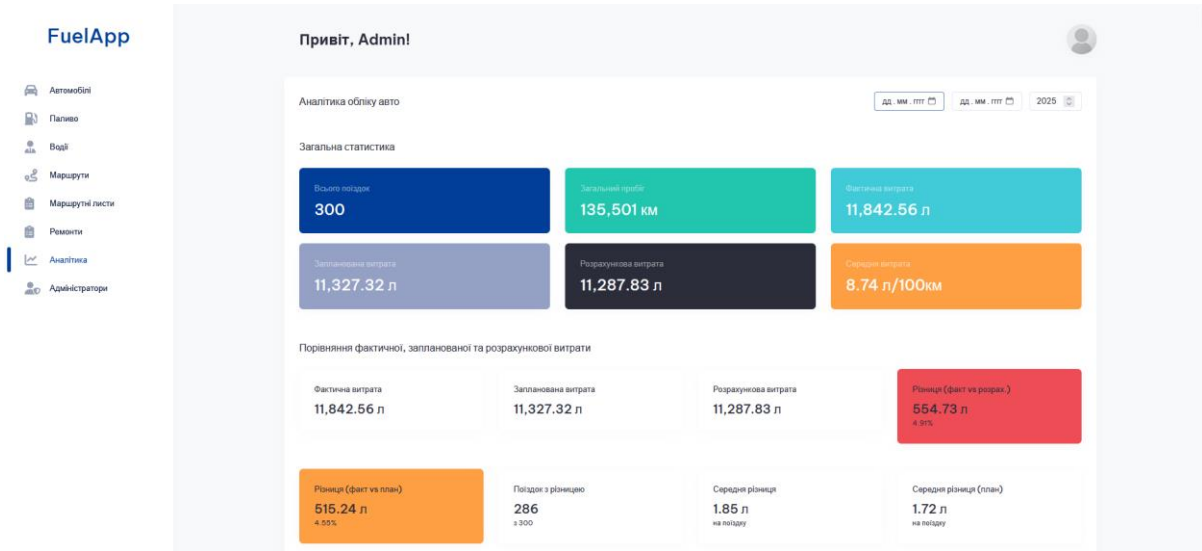


Рис. 3 – Головна панель аналітичного модуля та налаштування параметрів звітності

Після ініціації запиту (кнопка «Submit») система виконує асинхронне звернення до Backend-частини. У цей момент ініціюється розрахунок за математичними моделями (1–5). Завдяки використанню архітектури MERN, результати обчислень – від нормативних витрат до прогнозованого КТГ – миттєво агрегуються та

готуються до візуалізації без перезавантаження сторінки.

На четвертому етапі здійснюється візуалізація та інтерпретація результатів предиктивного аналізу на рівні окремого транспортного засобу (рис. 4).

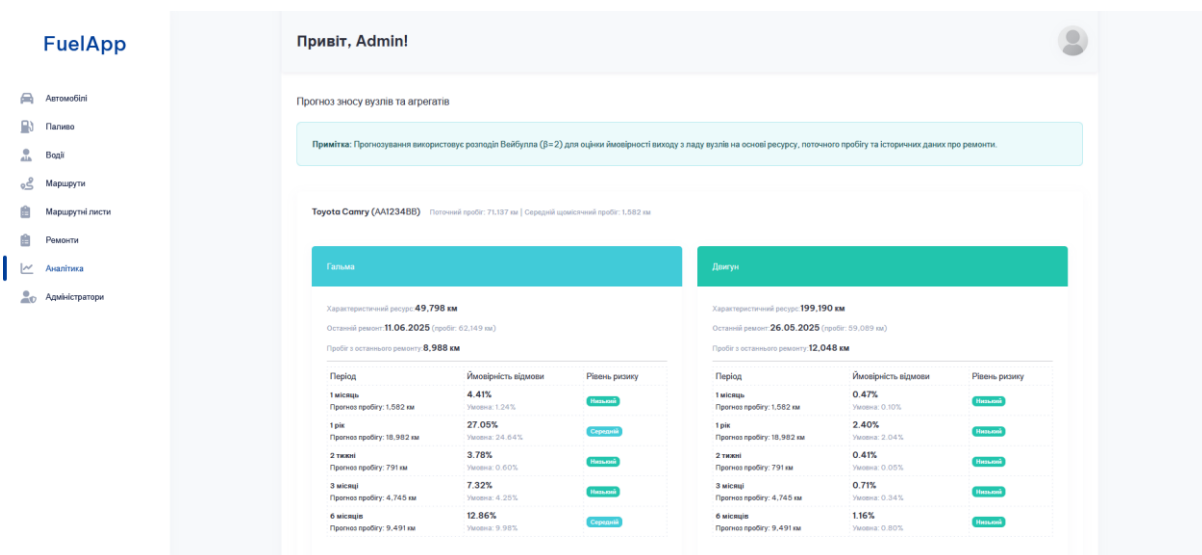


Рис. 4 – Інтерфейс деталізованого аналізу ефективності експлуатації автомобіля

Вихідні дані подаються у вигляді комплексного дашборду, що включає:

- динаміку споживання пального – графік, що дозволяє візуально ідентифікувати сплески витрат, які система інтерпретує як потенційні несправності;
- статистику пробігу – гістограму інтенсивності експлуатації за обраний період;

– аналітичні метрики – розраховані значення загального пробігу, сумарної витрати та середньої ефективності.

Для проведення ретроспективного аналізу та стратегічного планування в системі реалізовано модуль помісячної динаміки експлуатаційних показників (рис. 5).

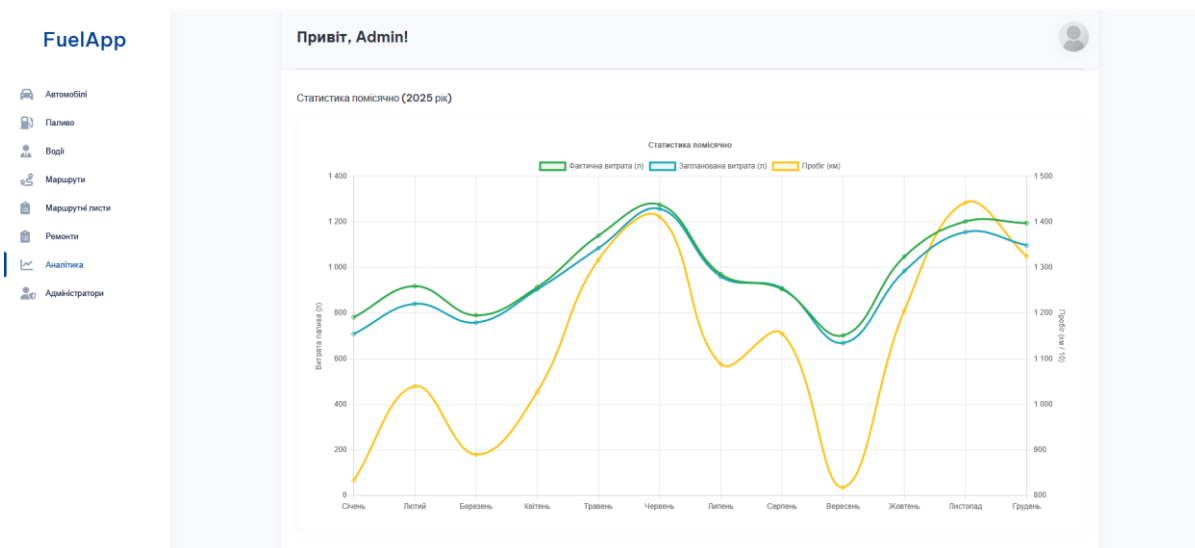


Рис. 5 – Динаміка витрат пального та пробігу у помісячному розрізі

Використання комбінованої візуалізації дозволяє керівництву підрозділу:

- виявляти сезонні закономірності – порівнювати інтенсивність використання техніки в різні періоди року;
- контролювати питомі витрати – відстежувати кореляцію між зростанням пробігу та обсягами закупівлі пально-мастильних матеріалів;
- прогнозувати бюджетні потреби – на основі історичних даних формувати запити на постачання пального для майбутніх періодів.

Саме така глибина аналітики забезпечує комплексну підтримку прийняття рішень, перетворюючи «сирі» дані маршрутних листів на стратегічну інформацію про готовність автопарку.

На основі цих даних алгоритм автоматично оновлює прогноз ймовірності безвідмовної роботи  $P_{prog}(t)$ . Якщо крива споживання пального демонструє сталу девіацію вгору, система сигналізує про необхідність позапланової діагностики вузлів, не чекаючи регламентного ТО за пробігом. Це дозволяє реалізувати перехід від планово-запобіжної системи обслуговування до стратегії ремонту за фактичним станом.

Для комплексної оцінки ефективності системи було проведено серію експериментів на базі реальних даних експлуатації 15 одиниць техніки. Важливим етапом дослідження стало порівняння класичної статистичної моделі (що враховує лише пробіг) із розробленою модифікованою моделлю (пробіг + паливний аудит).

Результати порівняльного аналізу (рис. 6) підтверджують гіпотезу про високу релевантність паливних аномалій.

Ефективність випереджаючого виявлення відмов розробленою системою у порівнянні з традиційними методами наведено на рис. 7. Дані свідчать, що у 85% випадків інтегрований аналіз енергоефективності дозволяє ідентифікувати деградацію стану на ранніх етапах.

Одним із ключових практичних результатів впровадження системи стало радикальне підвищення операційної ефективності управління. Апробація показала, що автоматизація процесу обробки маршрутних листів та формування звітів дозволила скоротити час на паперову роботу диспетчера у 7,5 разів (з 45 хвилин до 6 хвилин на один транспортний засіб на добу).

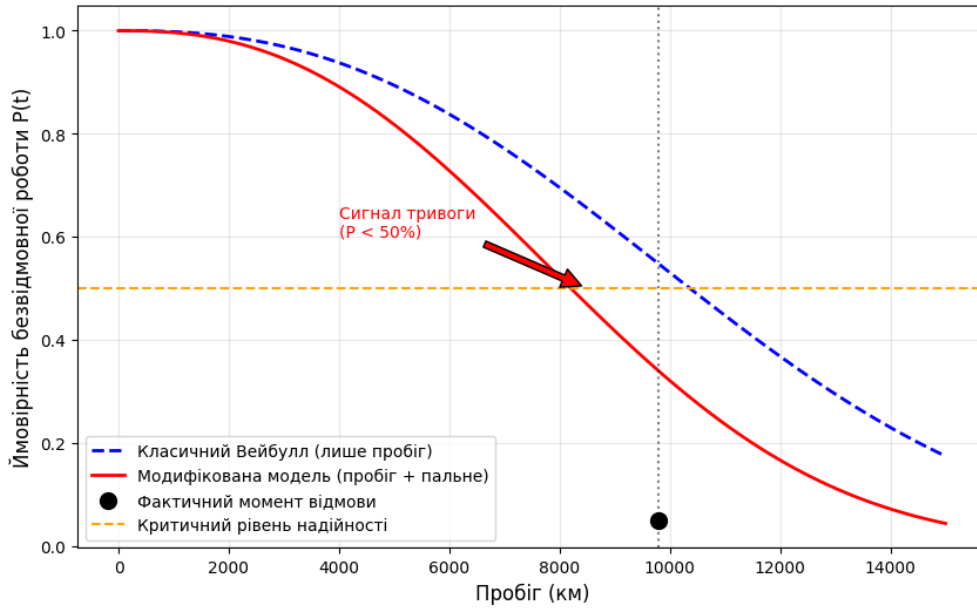


Рис. 6 – Ефект зміщення кривої надійності при виявленні перевитрат пального



Рис. 7 – Ефективність виявлення відмов розробленою системою

Аналіз експлуатаційних показників свідчить про зростання інтегрального показника КТГ парку на 12%. Це досягнуто завдяки превентивному обслуговуванню, що дозволило уникнути тривалих простоїв техніки. Комплексна позитивна динаміка включає зниження перевитрат пального на 8,4% та зменшення частоти раптових відмов на 18%.

Розроблений вебсервіс демонструє високий рівень адаптивності та може бути масштабований для використання у логістичних центрах, комунальних підприємствах або підрозділах Збройних Сил України для забезпечення максимальної боєздатності транспортного парку.

### Висновки

Розроблено архітектуру хмарноорієнтованого вебсервісу на основі стеку MERN (MongoDB, Express.js, React, Node.js), що забезпечує високу швидкість обробки великих масивів експлуатаційних даних та можливість функціонування в ізольованих локальних мережах. Використання асинхронної моделі взаємодії дозволило автоматизувати трансформацію неструктурованих звітів паливних компаній у валідні об'єкти для подальшого аналізу.

У ході дослідження обґрунтовано та реалізовано модифіковану ймовірнісну модель надійності на основі розподілу Вейбулла-Гнеденка. Наукова новизна рішення полягає у введенні кореляційної залежності між

параметром масштабу (ресурсом) та індикатором паливної аномалії через функцію гіперболічного тангенса. Це дозволило трансформувати економічні показники перевитрат пального у технічні метрики ймовірності безвідмовної роботи, забезпечуючи випереджаючу діагностику вузлів.

Апробація системи на базі реальних даних експлуатації автопарку підтвердила її високу практичну ефективність. Впровадження автоматизованого обліку маршрутних листів дозволило радикально оптимізувати роботу диспетчерської служби, скоротивши час на обробку документації у 7,5 разів (з 45 до 6 хвилин на одну одиницю техніки). Суб'єктивна оцінка зручності управління парком при цьому зросла з 4,2 до 9,1 бала за 10-бальною шкалою.

Експериментально доведено здатність розробленого алгоритму ідентифікувати прихований знос агрегатів на ранніх стадіях: модифікована модель фіксує деградацію стану в середньому за 1200–1500 км до моменту фактичної відмови. Це забезпечило зростання інтегрального коефіцієнта технічної готовності (КТГ) парку на 12% та зниження частоти раптових поломок на маршрутах на 18%. Економічний ефект підкріплюється зниженням середніх перевитрат пального на 8,4% завдяки своєчасному виявленню несправностей паливної апаратури.

Подальший розвиток системи вбачається в інтеграції модулів машинного навчання для автоматичного розпізнавання типів дорожнього покриття та рельєфу місцевості через GPS-трекінг. Це дозволить динамічно коригувати нормативну базу витрат пального без ручного введення коефіцієнтів, що ще більше підвищить точність предиктивних прогнозів надійності техніки.

#### Перелік використаних джерел

- [1] Model-based vehicular prognostics framework using Big Data architecture / A. Petrillo et al. *Computers in Industry*. 2020. Vol. 115. Article 103177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103177>.
- [2] Integrating AI-Driven Predictive Maintenance with Telematics: A Data-Centric Approach / P. D. Gawande. *Sarcouncil Journal of Engineering and Computer Sciences*. 2025. Vol. 4, iss. 7. Pp. 456–462. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15862327>.
- [3] Massaro A., Selicato S., Galiano A. Predictive Maintenance of Bus Fleet by Intelligent Smart Electronic Board Implementing Artificial Intelligence. *IoT*. 2020. Vol. 1, iss. 2. Pp. 180–197. DOI: <https://doi.org/10.3390/iot1020012>.
- [4] Online Short-Term Remaining Useful Life Prediction of Fuel Cell Vehicles Based on Cloud System / T. Ma et al. *Energies*. 2021. Vol. 14, iss. 10. Article 2806. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14102806>.
- [5] Хмарні рішення для інтеграції та аналізу даних дистанційного моніторингу транспортних засобів / В. Павленко та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2024. Т. 20, № 2. С. 109–117. DOI: <https://doi.org/10.63341/vjmet/2.2024.109>.
- [6] Auto Track: A Web Platform to Manage Servicing, Predict Resell Price and Optimize Vehicle Performance / P. Sahane et al. 2024 8th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), Coimbatore, India, 06–08 November 2024. Pp. 113–118. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICECA63461.2024.10801069>.
- [7] Canal R., Riffel F. K., Gracioli G. Machine Learning for Real-Time Fuel Consumption Prediction and Driving Profile Classification Based on ECU Data. *IEEE Access*. 2024. Vol. 12. Pp. 68586–68600. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3400933>.
- [8] Energy consumption analysis and prediction of electric vehicles based on real-world driving data / Zhang J., Wang Z., Liu P., Zhang Z. *Applied Energy*. 2020. Vol. 275. Article 115408. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115408>.
- [9] Study and Usage of MERN Stack for Web Development / S. A. Bafna et al. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*. 2022. Vol. 10, iss. 2. Pp. 178–186. DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.40209>.
- [10] Граб Д. В. Розробка модуля інформаційної системи на основі стеку MERN. *Інформаційні моделі, системи та технології (ІМСТ-2024)* : зб. тез доповідей XII Міжнар. наук.-техн. конф., м. Тернопіль, 18–19 грудня 2024. Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 28.
- [11] Goyal V., Mishra A. K., Singh D. Implementation and Comparison of MERN Stack Technology with HTML/CSS, SQL, PHP & MEAN in Web Development. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science (IRJMETS)*. 2023. Vol. 5, iss. 11. Pp. 1424–1431. DOI: <https://doi.org/10.56726/TRJMETS46315>.
- [12] Data Modeling Strategies for Connected Vehicle Signal Data in MongoDB / MongoDB Blog. 2023. URL: <https://www.mongodb.com/company/blog/innovation/data-modeling-strategies-connected-vehicle-signal-data-in-mongodb> (дата звернення: 20.10.2025).
- [13] Intelligent Maintenance System for Legacy Vehicles / W. Acioli e Silva et al. 2025 *IEEE 30th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Porto, Portugal, 09–12 September 2025. Pp. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1109/ETFA65518.2025.11205787>.
- [14] Innovative IoT Solutions for Vehicle Maintenance and Tracking / M. B. Begum et al. 2024 *International Conference on Big Data Analytics in Bioinformatics (DABCon)*, Kolkata, India, 21–23 November 2024. Pp. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/DAB-Con63472.2024.10919361>.
- [15] Методичні рекомендації з нормування витрат палива, електричної енергії, мастильних, інших експлуатаційних матеріалів автомобілями та

технікою / О. А. Клименко та ін. Київ : ДП «ДержавтотрансНДПроект», 2023. 51 с.

- [16] Xu M., Mao H. q-Weibull Distributions: Perspectives and Applications in Reliability Engineering. *IEEE*

*Transactions on Reliability*. 2025. Vol. 74, no. 3. Pp. 3112–3125. DOI:

<https://doi.org/10.1109/TR.2024.3448289>.

## RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A MERN-BASED CLOUD-ORIENTED WEB SYSTEM FOR PREDICTIVE VEHICLE DIAGNOSTICS BASED ON ENERGY EFFICIENCY INDICATORS

- Serhiienko A.** *PhD (Engineering), associate professor, SHEI «Priazovskyi state technical university», Dnipro, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1328-2572>, e-mail: [sergienko\\_a\\_v@pstu.edu](mailto:sergienko_a_v@pstu.edu);*
- Tryhub V.** *magіstr, SHEI «Priazovskyi state technical university», Dnipro, e-mail: [tryhub\\_v\\_p@students.pstu.edu](mailto:tryhub_v_p@students.pstu.edu)*

The paper presents the results of the comprehensive development and testing of a cloud-oriented web service designed for automated auditing and predictive forecasting of the vehicle fleet's technical condition. The software product is implemented based on the MERN stack (MongoDB, Express.js, React, Node.js), which ensures high processing speed of large datasets and the possibility of deployment in isolated local networks. The key technological feature of the system is the integration of fuel monitoring with probabilistic reliability models. During the research, a modified algorithm based on the Weibull-Gnedenko distribution was substantiated and implemented, where the scale parameter (resource) is dynamically adjusted depending on the fuel anomaly indicator using a hyperbolic tangent function for deviation normalization. The service functionality provides full automation of route sheet validation, calculation of standard fuel consumption considering a complex matrix of correction factors, and real-time visualization of reliability curves for each vehicle unit. An intelligent early warning mechanism for potential engine and transmission malfunctions based on detected energy efficiency deviations has been implemented. Experimental verification confirmed the high efficiency of the chosen architectural solution and the stability of the MongoDB database when working with unstructured logs. The implementation of the system allowed for a reduction in the time for processing and verifying operational documentation by 7.5 times. Based on the testing results, an increase in the technical readiness coefficient (TRC) of the fleet by 12% and a decrease in the frequency of sudden failures by 18% were recorded. It is proved that using modified probabilistic models in web monitoring panels is an effective tool for transitioning from an obsolete scheduled maintenance system to a progressive repair-by-condition strategy. This allows for the identification of key component degradation 1,200–1,500 km before their actual failure, ensuring significant resource savings and increasing the combat readiness of transport units.

**Keywords:** predictive diagnostics; vehicle technical condition; energy efficiency; fuel consumption; Weibull distribution; reliability theory; cloud-oriented systems; MERN stack; MongoDB; technical readiness coefficient; audit automation; web service.

### References

- [1] A. Petrillo, A. Picariello, S. Santini, B. Scarciello, and G. Sperli, "Model-based vehicular prognostics framework using Big Data architecture," *Computers in Industry*, vol. 115, article 103177, 2020. doi: **10.1016/j.compind.2019.103177**.
- [2] P. D. Gawande, "Integrating AI-Driven Predictive Maintenance with Telematics: A Data-Centric Approach," *Sarcouncil Journal of Engineering and Computer Sciences*, vol. 4, iss. 7, pp. 456–462, 2025. doi: **10.5281/zenodo.15862327**.
- [3] A. Massaro, S. Selicato, and A. Galiano, "Predictive Maintenance of Bus Fleet by Intelligent Smart Electronic Board Implementing Artificial Intelligence," *IoT*, vol. 1, iss. 2, pp. 180–197, 2020. doi: **10.3390/iot1020012**.
- [4] T. Ma, J. Xu, R. Li, N. Yao, and Y. Yang, "Online Short-Term Remaining Useful Life Prediction of Fuel Cell Vehicles Based on Cloud System," *Energies*, Vol. 14, iss. 10, article 2806, 2021. doi: **10.3390/en14102806**.
- [5] V. Pavlenko, V. Pavlenko, V. Manuylov, V. Kuzhel, and A. Buda, "Khmarini rishennia dlia intehratsii ta analizu danykh dystantsiinoho monitorynhu transportnykh zasobiv" ["Cloud solutions for data integration and analysis in remote vehicle monitoring"], *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Journal of mechanical engineering and transport*, vol. 20, № 2, pp. 109–117, 2024. doi: **10.63341/vjmet/2.2024.109**.
- [6] P. Sahane, Y. Chavan, S. Ashtagi, A. Avhad, and S. Gaikwad, "Auto Track: A Web Platform to Manage Servicing, Predict Resell Price and Optimize Vehicle Performance," in *Proc. of the 2024 8th Int. Conf. on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, Coimbatore, India, November 06–08, 2024, pp. 113–118. doi: **10.1109/ICECA63461.2024.10801069**.
- [7] R. Canal, F. K. Riffel, and G. Gracioli, "Machine Learning for Real-Time Fuel Consumption Prediction

- and Driving Profile Classification Based on ECU Data,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 68586–68600, 2024. doi: [10.1109/ACCESS.2024.3400933](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3400933).
- [8] J. Zhang, Z. Wang, P. Liu, and Z. Zhang, “Energy consumption analysis and prediction of electric vehicles based on real-world driving data,” *Applied Energy*, Vol. 275, article 115408, 2020. doi: [10.1016/j.apenergy.2020.115408](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115408).
- [9] S. A. Bafna, P. D. Dutonde, S. S. Mamidwar, M. S. Korvate, and D. Shirbhare, “Study and Usage of MERN Stack for Web Development,” *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, vol. 10, iss. 2, p. 178–186, 2022. doi: [10.22214/ijraset.2022.40209](https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.40209).
- [10] D. V. Hrab, “Rozrobka modulia informatsiinoi systemy na osnovi steku MERN” [“Development of a system-grounded criterion of optimal control”], in Proc. of the XII Int. Sci.-Techn. Conf. «Information Models, Systems and Technologies (IMST-2024)», Ternopil, Ukraine, December 18–19, 2024, p. 28.
- [11] V. Goyal, A. K. Mishra, D. and Singh, “Implementation and Comparison of MERN Stack Technology with HTML/CSS, SQL, PHP & MEAN in Web Development,” *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science (IRJMETS)*, vol. 5, iss. 11, pp. 1424–1431, 2023. doi: [10.56726/IRJMETS46315](https://doi.org/10.56726/IRJMETS46315).
- [12] Data Modeling Strategies for Connected Vehicle Signal Data in MongoDB / MongoDB Blog. 2023. [Online]. Available: <https://www.mongodb.com/company/blog/innovation/data-modeling-strategies-connected-vehicle-signal-data-in-mongodb>. Accessed on: October 20, 2026.
- [13] W. Acioli e Silva, J. Junior Abularach Arnez, M. G. Lima Damasceno, R. Landau Paiva de Medeiros, I. V. de Bessa, and V. Ferreira de Lucena Junior, “Intelligent Maintenance System for Legacy Vehicles,” in *Proc. of the 2025 IEEE 30th Int. Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Porto, Portugal, September 09–12, 2025, pp. 1–4. doi: [10.1109/ETFA65518.2025.11205787](https://doi.org/10.1109/ETFA65518.2025.11205787).
- [14] M. Baritha Begum, S. J. Muhammed Suhail, J. Sang-eetha Priya, J. Eindhmathy, G. Sivakannu, A. Kesavan, “Innovative IoT Solutions for Vehicle Maintenance and Tracking,” in *Proc. of the 2024 Int. Conf. on Big Data Analytics in Bioinformatics (DAB-Con)*, Kolkata, India, November 21–23, 2024, pp. 1–6. doi: [10.1109/DABCon63472.2024.10919361](https://doi.org/10.1109/DABCon63472.2024.10919361).
- [15] O. A. Klymenko et al., *Metodychni rekomendatsii z normuvannia vytrat palyva, elektrychnoi enerhii, mastylnykh, inshykh ekspluatatsiynykh materialiv avtomobiliamy ta tekhnikoju* [Methodological recommendations for the rationing of fuel, electricity, lubricants, and other operating materials by vehicles and equipment]. Kyiv, Ukraine : State Enterprise «DerzhavtotransNIIproekt», 2023.
- [16] M. Xu, and H. Mao, “q-Weibull Distributions: Perspectives and Applications in Reliability Engineering,” *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 74, no. 3, pp. 3112–3125, 2025. doi: [10.1109/TR.2024.3448289](https://doi.org/10.1109/TR.2024.3448289).
- Стаття надійшла 18.12.2025  
Стаття прийнята 15.01.2026  
Стаття опублікована 26.03.2026

**Цитуйте цю статтю як:** Сергієнко А. В., Тригуб В. П. Дослідження та розробка хмарноорієнтованої вебсистеми на основі стеку MERN для предиктивної діагностики автотранспорту за показниками енергоефективності. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки.* 2026. Вип. 53, том 1. С. 23–32. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.53.1.2026.359764>.