

базуються на застосуванні клейових, заклепкових з'єднань, 3D-сканування, ультразвукової діагностики та цифрових систем моніторингу.

Інтеграція технологій штучного інтелекту й цифрових двійників відкриває нові можливості для створення автоматизованих систем контролю технічного стану кузовів. Подальший розвиток галузі залежить від удосконалення ремонтних матеріалів, розвитку стандартизації та підготовки фахівців нової кваліфікації.

### Література

1. Крамар І. Т. Використання цифрових технологій у прогнозуванні технічного стану автомобіля. — Тернопіль: ТНТУ, 2023.

2. Філатов О. В., Бондаренко С. М. Інноваційні технології ремонту кузовів з алюмінієвих сплавів. — Автомобільний транспорт, № 45, 2022.

3. Bains, N. & Brooks, R. Advanced composite repair technologies in modern automotive engineering. — Journal of Materials & Design, 2021.

4. SAE International. Repair and Inspection of Aluminum Automotive Structures. — SAE Standard J1530, 2020.

УДК 629.113

## ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ ДІАГНОСТИЧНИХ ДАНИХ

**Королюк Андрій Олегович**, магістрант кафедри інжинірингу систем автомобільного транспорту ім. Говоруценка М.Я., Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Павленко В'ячеслав Миколайович**, канд. техн. наук, доцент кафедри інжинірингу систем автомобільного транспорту ім. Говоруценка М.Я., Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
e-mail: [vp.khadi@gmail.com](mailto:vp.khadi@gmail.com), ORCID: [0000-0003-0796-4307](https://orcid.org/0000-0003-0796-4307)

Еволюція автомобіля від механічного пристрою до кіберфізичної системи значно ускладнила процеси технічного обслуговування та ремонту. Сучасна станція технічного обслуговування (СТО) має справу з безпрецедентними обсягами діагностичних даних, що генеруються сотнями вбудованих сенсорів та електронних блоків керування (ECU). Успіх СТО сьогодні визначається не лише кваліфікацією механіків, але й здатністю ефективно збирати, обробляти та інтегрувати ці дані для переходу від реактивного до прогнозного та прескриптивного обслуговування.

У цьому контексті технології хмарних обчислень та цифрових близнюків (Digital Twins, ЦБ) набувають вирішального значення. Хмарні платформи забезпечують необхідну масштабованість та обчислювальну потужність для обробки великих даних (Big Data), тоді як цифрові близнюки створюють віртуальну модель автомобіля, яка дозволяє не лише моніторити, але й

прогнозувати стан систем і оцінювати залишковий ресурс компонентів. Крім того, ефективність, досягнута в діагностиці, повинна бути синхронізована з внутрішніми операційними процесами за допомогою інтелектуальних систем обліку робочого часу.

Хмарні платформи є архітектурним фундаментом для ефективного збору, зберігання та аналізу діагностичних даних, необхідних для прогнозного обслуговування.

Автомобілі, особливо комерційний транспорт та нові моделі, оснащені телематичними пристроями, які постійно збирають дані з шин CAN (контролери двигуна, трансмісії, ABS, подушок безпеки). Ці дані (пробіг, коди помилок (DTCs), напруга акумулятора, температура, тиск) передаються через IoT-шлюзи до хмарного сховища (Data Lake) [1].

Перевага хмари забезпечується масштабованістю для зберігання петабайтів даних від тисяч транспортних засобів та доступність для миттєвого доступу з будь-якої точки світу. Використовуються хмарні сервіси для потокової обробки (Stream Processing), які миттєво фільтрують та нормалізують дані, виявляючи критичні аномалії (наприклад, раптове підвищення температури двигуна) та негайно ініціюючи сповіщення.

Аналіз великих даних та машинне навчання розташовує у хмарі потужні обчислювальні кластери, необхідні для роботи складних алгоритмів машинного навчання (ML). Ці алгоритми аналізують історичні та поточкові дані для:

- кластеризації несправностей, а саме виявлення прихованих зв'язків між умовами експлуатації (температура, стиль водіння) та частотою певних відмов;
- прогнозування відмов – це моделі часових рядів (наприклад, LSTM) навчаються на трендах зносу (збільшення вібрації, зміна опору ізоляції) та прогнозують залишковий термін служби (RUL) критичних компонентів (акумулятор, підшипники, насоси).

Таким чином, хмара перетворює сирі діагностичні дані на цінні знання для проактивного обслуговування.

Цифровий близнюк є динамічною віртуальною копією фізичного транспортного засобу, яка підтримується і оновлюється хмарними даними, отриманими з телематичних систем. ЦБ – це не просто 3D-модель; це багатовимірна модель симуляції, що об'єднує фізичні моделі (Physics-based) (закони термодинаміки, механіки рідин, які моделюють ідеальну поведінку компонента) та моделі, керовані даними (ML-алгоритми, які коригують фізичну модель на основі фактичного зносу та умов експлуатації конкретного автомобіля).

Прогнозування через ЦБ: ЦБ дозволяє фахівцям СТО запускати сценарії "що-якщо" (What-If Scenarios) у віртуальному середовищі, не ризикуючи фізичним автомобілем. Наприклад: прогнозування деградації акумулятора (SoH) – ЦБ акумулятора електромобіля може симулювати, як швидке заряджання при високій температурі вплине на його ємність через 6 місяців, надаючи точнішу інформацію про State of Health (SoH), ніж прості діагностичні інструменти; прогнозування поведінки трансмісії – ЦБ може передбачити, коли

зміна вібраційного профілю досягне критичного рівня, вказуючи на необхідність заміни підшипника за 1-2 місяці до його катастрофічної відмови.

Інформація, отримана з ЦБ, дозволяє СТО персоналізувати графік обслуговування для кожного окремого автомобіля, а не дотримуватися універсального регламенту. Це є справжнім прогностичним обслуговуванням.

Ефективність, досягнута на рівні діагностики (завдяки Хмарі та ЦБ), повинна бути відображена в операційній діяльності СТО. Саме тут інтегруються інтелектуальні системи обліку робочого часу (ІСОПЧ). Синхронізація прогнозів та планування складається з чотирьох етапів:

1. Прогноз навантаження – дані про RUL, отримані з ЦБ, дозволяють СТО з високою точністю прогнозувати майбутній попит на певні види ремонту (наприклад, кількість заміन акумуляторів через 3 тижні).

2. Оптимізація ресурсів – СТО використовує цю інформацію для:

- управління запасами;
- планування персоналу;

3. Інтелектуальний облік робочого часу – системи, що використовують біометрію та відеоаналітику, забезпечують об'єктивність вимірювання ефективності. Вони чітко розділяють час, витрачений на продуктивний ремонт (що відповідає діагнозу ЦБ), від часу простою або очікування.

4. Верифікація продуктивності – якщо складна діагностика ЦБ показала, що ремонт вимагатиме 4 нормо-години, ІСОПЧ контролює, чи механік витратив саме цей час продуктивно, надаючи керівництву об'єктивні дані для аналізу ефективності та навчання [2].

Інтеграція цих систем створює замкнений цикл покращення (Closed-Loop Improvement), ЦБ дає прогноз а Хмара забезпечує ресурси ІСОПЧ вимірює ефективність виконання Дані про виконання використовуються для корекції прогностичних моделей ЦБ.

Широкі впровадження цієї інтегрованої архітектури стикається з кількома серйозними викликами:

– конфіденційність та кібербезпека. Збір та передача в хмару величезної кількості чутливих телематичних даних та даних про пересування автомобілів вимагає найвищих стандартів шифрування та суворого дотримання GDPR та інших законів про конфіденційність;

– складність моделювання ЦБ. Точність ЦБ безпосередньо залежить від якості та повноти даних, а також складності інтеграції фізичних та ML-моделей. Підтримка високої точності (fidelity) моделі при постійній зміні умов експлуатації є ресурсомістким завданням;

– інтероперабельність. Відсутність єдиних галузевих стандартів ускладнює інтеграцію даних з різних джерел (різні виробники ECU, різні системи DMS/ERP), що вимагає значних зусиль для розробки уніфікованих API.

### **Висновки**

Інтеграція хмарних технологій, цифрових близнюків та інтелектуальних систем обліку часу являє собою наступний етап еволюції технічного

обслуговування. Хмарні платформи виступають як центр обробки даних, забезпечуючи прогнозу діагностику, ЦБ забезпечують віртуальне прогнозування стану окремих вузлів, а ІСОРЧ замикає цикл, перетворюючи інтелектуальну діагностику на вимірювану операційну ефективність.

Для СТО це означає перехід до проактивної та високоперсоналізованої бізнес-моделі, яка мінімізує незаплановані простої, оптимізує витрати на запаси та, що найважливіше, значно підвищує безпеку експлуатації та лояльність клієнтів. Успіх в майбутньому належатиме тим сервісам, які зможуть ефективно перетворити потік сирих діагностичних даних на точні прогнозні рекомендації та операційні рішення.

## Література

1. Vechio, R., & Perra, G. (2020). A Survey on Cloud-Based Architectures for Automotive Telematics and Predictive Maintenance. *Sensors*, 20(21), 6062.

2. Liu, M., Zhang, H., Liu, F., & Wang, Y. (2020). Digital Twin for Autonomous Vehicles: A Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(12), 5227-5241.

УДК 621.44.3

## АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ПУСКУ ДВИГУНА НА ВІЙСЬКОВИХ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЯХ

**Кривошапов Сергій Іванович**, канд. техн. наук, доцент кафедри «Інжиніринг систем автомобільного транспорту ім. Говоруценка М.Я.», Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
e-mail: [tesa@khadi.kharkov.ua](mailto:tesa@khadi.kharkov.ua), ORCID: [0000-0003-4605-6790](https://orcid.org/0000-0003-4605-6790)

**Дудко Віталій Володимирович**, магістр,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
e-mail: [vitalijdudko2106@gmail.com](mailto:vitalijdudko2106@gmail.com)

Використання систем запуску двигуна вантажних автомобілів у складних умовах зростає з кожним роком, особливо з урахуванням сучасних вимог до ефективності та надійності транспортних засобів. Вантажні автомобілі, які експлуатуються в умовах екстремальних температур, на бездоріжжі або в зонах з високою запиленістю, стикаються з численними викликами, що можуть впливати на їх експлуатаційні характеристики.

Метою дослідження є підвищення надійності системи впуску двигуна вантажних автомобілів збройних сил, які працюють в складних умовах експлуатації: низкою температури, відсутності виробничої бази, зберігання в польових умовах тощо.

Об'єктом дослідження є процес запуску двигуна вантажних автомобілів в складних умовах експлуатації.