

AR-ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАВЧАННЯ ТА РЕМОНТУ АВТОМОБІЛІВ

Попов Денис Володимирович, 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, ORCID: [0000-0003-0796-4307](https://orcid.org/0000-0003-0796-4307)

Сучасний автомобіль перетворився на складну кіберфізичну систему, де електронні компоненти, програмне забезпечення та передові системи допомоги водію (ADAS) відіграють не меншу роль, ніж механічні вузли. Така швидка технологічна еволюція, особливо перехід до електромобілів (EV) з високовольтними акумуляторними системами, створює значні виклики для галузі технічного обслуговування. Традиційні методи навчання, засновані на паперових посібниках, двовимірних схемах та аудиторних лекціях, вже не можуть забезпечити необхідну швидкість та глибину засвоєння складного матеріалу.

Аналогічно, процес ремонту вимагає від механіків постійного звернення до технічної документації, що призводить до витрат часу, збільшення ймовірності помилок та, як наслідок, зниження продуктивності станцій технічного обслуговування (СТО).

Технологія доповненої реальності (Augmented Reality, AR) пропонує революційний інструмент для подолання цих розривів. AR дозволяє накладати цифрову, контекстно-залежну інформацію (текст, 3D-моделі, анімації, діагностичні дані) безпосередньо на фізичний об'єкт у реальному часі. У сфері автомобілебудування AR перетворює статичну інформацію на інтерактивного помічника, який буквально "показує" механіку, що робити і як це виглядає.

Метою цієї роботи є дослідження механізмів використання AR-технологій для підвищення ефективності навчання технічних спеціалістів та оптимізації процесів діагностики та ремонту автомобілів.

Доповнена реальність (AR) не створює повністю віртуальний світ (як VR), а розширює сприйняття реального світу за допомогою комп'ютерних даних. Для використання AR в автосервісі застосовується кілька типів обладнання:

1. Наголовні дисплеї (Head-Mounted Displays, HMDs) – пристрої, такі як Microsoft HoloLens або спеціалізовані промислові AR-окуляри. Вони дозволяють механіку працювати з вільними руками (hands-free), що є критично важливим у процесі ремонту;

2. Мобільні пристрої – планшети або смартфони, які використовують камеру для сканування об'єкта та відображення накладених даних на екрані.

Ключова цінність AR для автомобільної галузі полягає в контекстній інтеграції даних: система не просто відображає схему; вона відображає схему саме на тому компоненті, який знаходиться перед очима користувача, синхронізуючи віртуальні інструкції з фактичним простором.

Застосування AR у навчанні механіків та інженерів забезпечує більш швидке засвоєння матеріалу та значно вищий рівень утримання знань, порівняно з традиційними методами. AR дозволяє перетворити фізичний автомобільний компонент (наприклад, двигун внутрішнього згоряння або блок ABS) на інтерактивний навчальний посібник. Студенти можуть бачити:

- 3D-рендеринг внутрішніх деталей. За допомогою AR можна "просвітити" корпус двигуна, щоб побачити рух поршнів, роботу клапанів або процес впорскування палива, що є неможливим у реальному житті без розбирання;

- покрокові інструкції. Анімовані 3D-стрілки та підказки можуть накладатися на компонент, показуючи точну послідовність дій для демонтажу або калібрування. Це знижує залежність від текстових описів і мінімізує ризик неправильного виконання складних процедур;

- безпека при роботі з EV. AR є незамінним інструментом для навчання роботі з високовольтними акумуляторними батареями електромобілів. AR-симуляції дозволяють відпрацювати процедури безпечного відключення (lockout/tagout) та ізоляції високовольтних кабелів без ризику для життя та дорогого обладнання;

- навчання "на місці". AR переносить навчання безпосередньо до робочої зони. Замість того, щоб звертатися до посібника у класі, фахівець отримує необхідну інформацію в той момент, коли він фізично контактує з компонентом. Дослідження показують, що таке "навчання на місці" значно покращує набуття навичок та зменшує кількість помилок при першому виконанні завдання;

- дистанційна експертна допомога (See-What-I-See). Це одна з найцінніших функцій AR у навчанні та ремонті. Менш досвідчений технік, який працює на СТО, може в режимі реального часу підключитись до віддаленого експерта за допомогою AR-окулярів. Експерт, перебуваючи в іншому місті чи країні, бачить те саме, що й технік (через камеру окулярів), і може малювати віртуальні анотації, стрілки чи накладати діаграми безпосередньо в поле зору техника, спрямовуючи його дії. Це різко скорочує час простою через пошук кваліфікованої допомоги.

У процесі щоденної роботи на СТО AR-технології значно підвищують швидкість та точність діагностики та ремонту, забезпечуючи перехід до "розумного ремонту". Візуалізація діагностичних даних у реальному часі, а саме AR-окуляри можуть відображати критично важливі дані безпосередньо над фізичним компонентом. Наприклад:

- коди несправностей (DTCs). Механік наводить погляд на блок керування двигуном (ECU), і AR-система накладає текст, що пояснює код помилки та посилання на необхідну процедуру;

– дані CAN-шини. Наведення на сенсор тиску в шині може відобразити його поточні показання, графік зміни температури або напруги, що дозволяє швидко оцінити працездатність без використання додаткових приладів та дисплеїв;

– схеми електропроводки. AR-система може накладати колірну схему електропроводки на фізичний джгут кабелів, допомагаючи швидко ідентифікувати потрібний провід у складних з'єднаннях;

– процедурна підтримка та ідентифікація прихованих вузлів. AR вирішує проблему пошуку прихованих або невидимих компонентів. Якщо для доступу до необхідного вузла потрібно демонтувати елементи салону або панелі приладів, AR може:

- 1) показувати місця кріплення – це 3D-моделі гвинтів, засувки і кліпсів відображаються у віртуальному просторі, запобігаючи пошкодженню дорогих пластикових деталей;
- 2) візуалізація внутрішньої траєкторії – це показати маршрут прокладки паливних магістралей або гальмівних трубок, які знаходяться всередині кузова;
- 3) верифікація та контроль якості – це після завершення ремонту AR-система може перевірити, чи всі компоненти були встановлені назад правильно, наприклад, підсвічуючи місця, де не вистачає гвинтів або де не підключено електричний роз'єм.

Висновок

Технологія доповненої реальності є необхідним інструментом для модернізації автомобільної галузі, що швидко ускладнюється. AR дозволяє вирішити ключові проблеми, пов'язані з передачею знань і підвищенням продуктивності. Впровадження AR у навчання забезпечує більш глибоке розуміння складних систем (особливо EV), скорочує час, необхідний для набуття навичок, та підвищує безпеку праці. У процесі ремонту AR радикально скорочує час, що витрачається на пошук інформації, мінімізує помилки та дозволяє фахівцям швидко отримувати допомогу від віддалених експертів. Хоча залишаються виклики, пов'язані з вартістю та розробкою контенту, переваги, які AR надає у вигляді підвищення ефективності ремонту, якості обслуговування та задоволеності клієнтів, роблять її невід'ємною частиною майбутнього інтелектуального автосервісу.

Література

1. Daimler AG. (2020). Digital Service Manuals and Training with Augmented Reality: A Case Study. Internal Technical Report.
2. Jafari, H., & Liu, Y. (2021). Augmented Reality in Automotive Maintenance: A Systematic Review of Technologies and Applications. *Journal of Engineering Design*, 32(8), 497-518.
3. Wang, L., & Li, R. (2019). AR-Assisted Training for High-Voltage Systems in Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(6), 3321-3330.