УДК 629.4.014 DOI: 10.18664/ikszt.v29i4.320383

Д-р техн наук КРАШЕНІНІН О.С.,
Д-р техн наук, проф. УСТЕНКО О.В.,
магістрант КОСЕНКО В.М. (Український державний університет залізничного транспорту)

Оцінювання ефективності запровадження сервісу в систему ремонту врс

Анотація. У статті розглянуто питання оцінювання ефективності сервісу для високошвидкісного рухомого складу як складової підвищення якості його обслуговування та ремонту. Порівнено ефективність планово-попереджувальної та предиктивної систем його виконання, а також розглянуто систему розумного предиктивного обслуговування, що дає змогу прогнозувати стан обладнання за допомогою моніторингу динаміки його показників. Оцінювання ефективності сервісу розглянуто в рамках контракту життєвого циклу (КЖЦ), який не тільки забезпечує підвищення рівня технічного стану рухомого складу, а й знімає з перевізника необхідність контролю його стану і дає змогу сконцентруватися на виконанні перевезень. Також оцінено перспективи використання сучасних технологічних рішень для виконання ТОіР задля підвищення продуктивності виробництва.

Ключові слова: сервіс, обслуговування, ремонт, тяговий рухомий склад, предиктивна система, інтероперабельність, контракт життєвого циклу.

Вступ.

Підвищення ефективності перевезень є прагненням кожної залізничної компанії задля підвищення прибутку. Збільшення коефіцієнта використання парку високошвидкісного рухомого складу, швидкості руху, об'ємів перевезення за скорочення витрат на утримання постійно мотивує до розвитку, покращення та пошуку нових рішень. Перспективним і ефективним рішенням, у тому числі для АТ «Укрзалізниця», є оновлення парку рухомого складу, особливо коли його знос перевищує 90 %, що за сучасних умов складно реалізувати. До того ж новий рухомий склад потребує нового, більш досконалого підходу для організації ремонту, а з закупівлею закордонного ВРС виникає потреба в локалізації процесів ТОіР задля уникнення величезних втрат часу та фінансів на пересилання локомотивів на ремонт або запрошення закордонних спеціалістів ремонтників. Одним із шляхів вирішення цього питання є організація системи сервісу для ВРС сторонніми компаніями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Система сервісу є дуже розвиненою, вигідною та популярною на закордонних високошвидкісних залізницях [10-13]. Але через відсутність високошвидкісного руху на території України вона не набула популярності та відповідно, не отримує відчизняних розробок. Тому є важливим показати її переваги та вигоду порівняно з традиційною системою ТОіР [1, 2, 5] і стимулювати розвиток та інновації у сфері відчизняного технічного обслуговування та ремонту.

Визначення мети та завдання дослідження.

Метою дослідження є визначення головних переваг запровадження сервісу для ВРС проти традиційної системи ТОіР, порівняння способів його виконання, оцінювання використання сучасного підходу управління процесом обслуговування та ремонту «Контракт життєвого циклу», перспективних сучасних технологій допомоги та автоматизації: технічний зір, 3D-принтери, роботи.

Для досягнення сформульованої мети потрібно вирішити такі завдання:

- проаналізувати досвід запровадження сервісу та способів його реалізації: планово-попереджувальним і предиктивним, оцінити його переваги та недоліки для ВРС;
- проаналізувати ефективність моделі контракту життєвого циклу рухомого складу та моделі управління життєвим циклом ТРС і ВРС і скласти порівняльну характеристику;
- оцінити використання перспективних цифрових технологій у процесі обслуговування та ремонту і опрацювати пропозиції щодо впровадження деяких із них для ВРС.

Основна частина дослідження.

Суть сервісу полягає в передаванні повноважень та обов'язків щодо проведення

© КРАШЕНІНІН О.С., УСТЕНКО О.В., КОСЕНКО В.М.2024

технічного обслуговування і ремонту рухомого складу приватним комерційним компаніям, зацікавленим у виконанні таких послуг за відповідну грошову винагороду. Це дає змогу перевізнику сконцентрувати свої зусилля на ефективній експлуатації поїздів і убезпеченні руху, а сервісна компанія забезпечить їхній належний технічний стан і постійну модернізацію процесу ремонту і конструкції локомотивів відповідно до потреб власника. При цьому оплату здійснюють не за обсяг виконаного ТОіР, а кілометри корисного пробігу локомотива та його час перебування в експлуатаційному парку. Отже, сервіс заробляє не за виконання якнайбільшої кількості ремонтів, а навпаки, забезпечуючи перебування високошвидкісного рухомого складу в експлуатації якомога більше часу, у тому числі зменшення кількості та тривалості ремонтів для безумовної якості їх виконання та убезпечення руху. Завдяки такій системі оплати повністю виключено випадки, коли сервіс навмисно затягував би процес ремонту і завищував його обсяги задля підвищення власного прибутку. При цьому договір на виконання сервісу має відповідати певним вимогам, відомими як Service Level Agreement, які визначають рівень очікуваного обслуговування та ремонту, встановлюючи показники, за допомогою яких визначають якість надаваних послуг, а також засоби правового захисту або штрафів, якщо такі є, якщо рівень сервісу не буде досягнутий. Головним показником надійності сервісу є коефіцієнт технічної готовності [7]

$$K_g = \frac{t_w}{t_w + t_p}\ , \qquad (1)$$

де K_g – коефіцієнт технічної готовності;
t_w – сумарний час справної роботи;
t_p – сумарний час вимушених простоїв.

Для переходу до імовірнісного трактування величини t_w і t_p заміняють математичними сподіваннями часу між сусідніми відмовами і часу відновлення відповідно:

$$K_g = \frac{t_{\text{ср}}}{t_{\text{ср}} + t_{\text{В}}}\ , \qquad (2)$$

де $t_{\text{ср}}$ – середній наробіток до відмови;
$t_{\text{В}}$ – середній час відновлення.

Але через те що експлуатацією займається перевізник, дохід сервісної компанії не повністю залежить від неї, особливо за неефективного управління процесами перевезень. Через це фінансова прибутковість в основному визначена собівартістю обслуговування та ремонту. Тому ефективними шляхами збільшення прибутку є підвищення ефективності системи ТОіР, розвиток і модернізація методів, систем, оснащення технічного забезпечення сервісу, зменшення кількості позапланових ремонтів, оптимізація технологічного процесу для економії часу на ТОіР. Отже, сервіс постійно прагне до покращення та оптимізації технологічного процесу ремонту.

На сьогодні є дві альтернативні системи виконання сервісного ТОіР: планово-попереджувальна (або превентивна) і предиктивна (англ. predict – передбачити). Планово-попереджувальний ремонт являє собою сукупність технологічних заходів та операцій, спрямованих на забезпечення працездатності ТРС або ВРС шляхом проведення відповідного технічного обслуговування і ремонту і, за потреби, заміни деталей і вузлів, що зазнали значного зношення, за заздалегідь складеним планом. Структура ремонтного циклу – це визначений порядок і послідовність видів обслуговуючих ремонтних робіт у період між випуском ТРС із заводу та першим капітальним ремонтом або двома капітальними ремонтами [1, 2, 5]. До переваг цієї системи можна віднести убезпечення руху завдяки виконанню необхідних робіт заздалегідь із метою попередження відмови та можливість наперед формувати план ремонту. Але через наявність великої кількості зайвих операцій для обслуговування вузла, коли це не є необхідністю, виникають зайві витрати, що є значним недоліком [1, 2].

На території Європейського Союзу ВРС експлуатовано уже дуже тривалий час і є одним із найінноваційніших у світі (зокрема французький TGV, який 3 квітня 2007 року встановив рекорд швидкості 574,8 км/год), у зв’язку з чим процес технічного обслуговування та ремонту дуже розвинений. Саме такі гіганти, як Alstom, Bombardier, Siemens, почали першими передавати свій високошвидкісний рухомий склад виробнику для проведення ТОіР завдяки розумінню, що застосування такого підходу дає виробнику додатковий стимул для вдосконалення конструкції рухомого складу, підвищення його ефективності та надійності, організації постачання технологічного обладнання та оригінальних запчастин. Але, звісно, кожна країна має свої особливості рухомого складу або залізниці, через що порядок проведення ТОіР відрізняється. Так, наприклад, в Іспанії експлуатовані дві залізниці шириною 1668 та 1435 мм, що стимулювало розроблення розсувної колісної пари, яка потребує більш частого, суворого та об’ємного обслуговування. Французькі високошвидкісні поїзди сімейства TGV задля досягнення великих швидкостей проходження кривих обладнані системою нахилу кузова вагонів, що також потребує додаткових вимог і збільшення об’ємів ТОіР. Але при цьому діють єдині вимоги щодо утримання колії,

контактної підвіски та сигналізації стандарту ETCS level 1. Повної відмови від планово-попереджувального ТОіР також не відбулося, як показано на рис. 1.

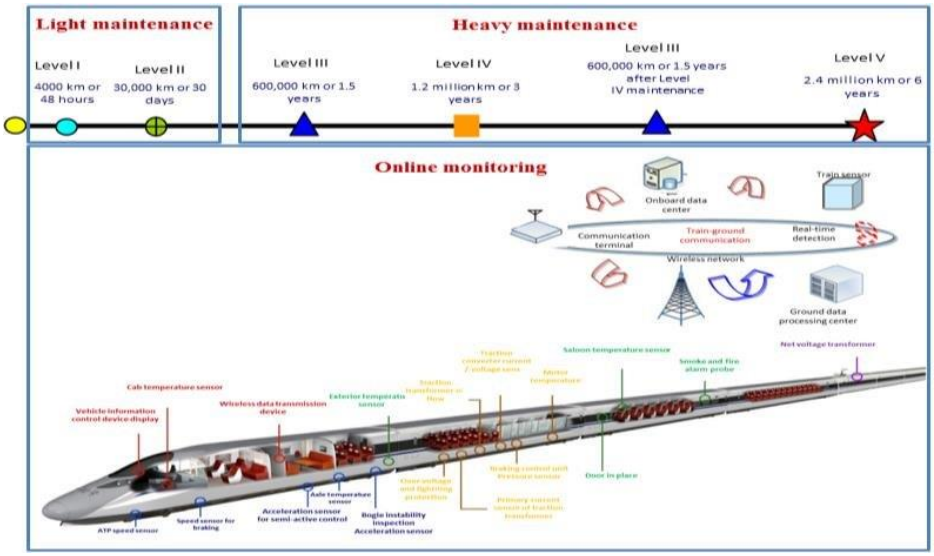

Рис. 1. Порядок обслуговування високошвидкісних поїздів TGV і їх моніторингу

Однією з розробок контролю справності рухомого складу є система ATOMS виробництва Acellent, призначена для виконання моніторингу структурного здоров'я (Structural Health Monitoring, SMH) несучих компонентів ВРС. Ключові функції системи подано на рис. 2. Вона може бути під'єднана до системи комунікації поїзда та забезпечувати діагностику пошкоджень у реальному часі під час руху. Після того як поїзд запущено, система Acellent SHM також вмикається. Вона працює під час зупинок поїзда на кожній станції свого шляху. Система виконує семиетапний процес: збирання даних, оцінювання даних, діагностика працездатності, відстеження параметрів працездатності, звіт про працездатність, попередження та оновлення стану працездатності після ремонту [12].

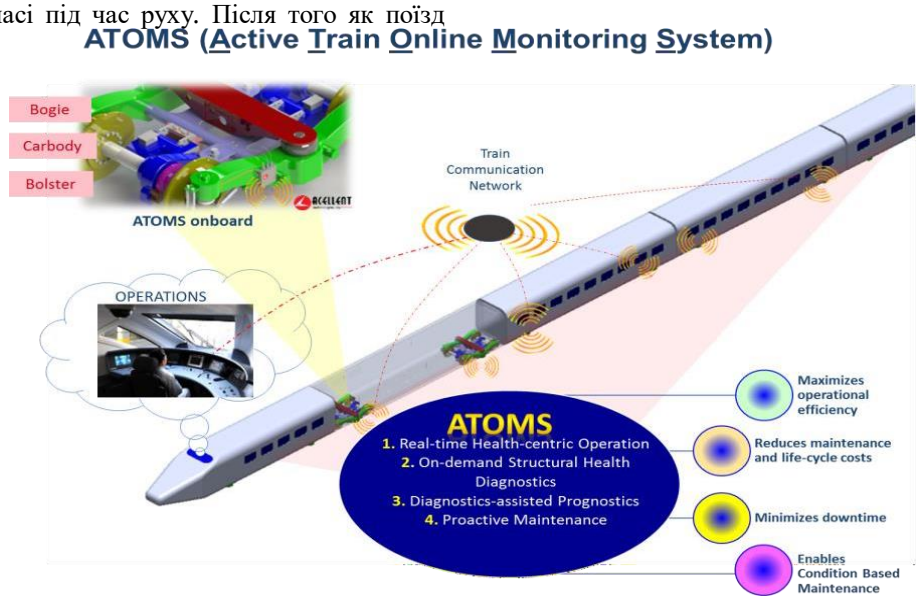

Рис. 2. Загальний огляд системи ATOMS

Значний стрибок у розвитку нейромереж останніми роками стимулював більш широке використання цифрових двійників для моделювання можливих сценаріїв виникнення несправностей. Для цього зазвичай створюють ідентичну модель потрібного вузла та спрощену модель рухомого складу з іншим обладнанням,

якщо в цьому є необхідність. Прикладом є компанія SIMPACK, яка за таким принципом створила свою динамічну модель високошвидкісного поїзда, що дає змогу визначити знос колісної пари методом зворотного поширення помилки (bsckpropagation neural network, BPNN). Цей метод має значні переваги порівняно з іншими нейронними мережами (наприклад нейронною мережею радіальної базисної функції):

- можливість нелінійного планування;
- здатність до самонавчання та адаптації;
- здатність застосовувати результати навчання до нових знань;
- відмовостійкість.

Основна ідея алгоритму зворотного поширення помилки полягає в тому, щоб шар за шаром поширювати помилку вихідного шару назад для опосередкованого обчислення прихованої помилки шару. Оскільки тришарового BPNN достатньо для більшості інженерних застосувань, у цьому дослідженні тришаровий BPNN використовують для обробки щоденних вимірюваних даних для класифікації глибини зносу всіх коліс високошвидкісного поїзда.

Система предиктивного ремонту полягає в передбаченні стану вузла у близькому майбутньому на основі інформації, отриманої завдяки автоматизованому безперервному діагностуванню та аналізу роботи пристроїв безпеки в процесі експлуатації з наступним передаванням у сервісне депо ремонтному персоналу інформації про наявність параметрів, що відхиляються від еталонних, і помилки в роботі певних пристроїв або вузлів, а також рекомендацій щодо виправлення відповідних несправностей. Завдяки постійному вимірюванню параметрів стану обладнання за допомогою датчиків і сенсорів на ТОіР високошвидкісний рухомий склад відправляють лише тоді, коли відбувається невідповідність нормативним значенням показників конкретних вузлів. Така система отримала назву Smart Predictive Maintenance System – система розумного предиктивного обслуговування. Безперервне спостереження за роботою обладнання локомотива і великий ступінь автоматизації обслуговування та ремонту попереджає виникнення пошкоджень і відмов із вірогідністю близько 100 %, а також допомагає регулярно економити значний об’єм фінансових ресурсів на проведення ТОіР [1, 5]. Завдяки цьому відбувається ефективне запобігання виникненню несправностей і відмов завдяки їх своєчасному виявленню за допомогою датчиків і передавання цієї інформації в сервісне депо для підготовки виконання ремонту. При цьому відбувається суттєва оптимізація витрат, адже ремонт і обслуговування здійснюють виключно за потреби, а не регулярно за графіком, що дає змогу уникнути зайвих витрат на часті перевірки та ремонти. До того ж виключені ситуації, коли обладнання працює в несправному стані через невизначену несправність, адже система одразу сповістить про неї та необхідність виконання ремонту. Завдяки вчасному обслуговуванню виключений надмірний знос обладнання, але при цьому непотрібні перевірки та розбирання обладнання. Але впровадження предиктивної системи має досить високу вартість, адже встановлення датчиків, бортових комп’ютерів і відповідного програмного забезпечення, навчання персоналу та організації комунікації всіх задіяних АСУ між собою потребує значних капіталовкладень. Іншою проблемою є налаштування системи та її пристосування для різних типів обладнання, що часто потребує залучення експертів і часу на адаптацію. Особливо складно, коли сучасне обладнання або програмне забезпечення несумісне з новим обладнанням – це викликає потребу нових інвестицій в оновлення системи та пристосування до її роботи. Ураховуючи всі перераховані вище переваги та недоліки обох систем обслуговування та ремонту, можна вважати, що кращим варіантом буде так звана змішана система ТОіР, у якій деякі вузли все ще обслуговують періодично після певного пробігу або часу експлуатації, а інші – моніторять датчиками та сенсорами системи предиктивного ремонту і обслуговують відповідно за потреби. Це дає змогу економити значні кошти для контролю параметрів, до яких не висувають високі вимоги щодо точності та якості контролю. У такий спосіб досягають оптимальних витрат на експлуатацію локомотива за його доцільного використання та обслуговування.

Предиктивна частина змішаної системи ТОіР реалізована так: на вузлах рухомого складу розміщують датчики та сенсори для контролю їхньої роботи і об’єднують у єдину систему, якою управляє бортовий комп’ютер, після знімання показників їх відправляють на сервер, де обробляють і зберігають, після чого залежно від реалізації результати можуть відображуватися відповідальному персоналу, який ухвалює рішення про необхідність проведення ТОіР, або ж система робить це сама. Схема роботи подана на рис. 3. Але її впровадження потребує автоматизації обліку несправностей у процесі роботи для своєчасного виявлення передвідмовних станів. Цього досягають забезпеченням обміну даними між системою автоматичної діагностики та системами фіксації та обробки даних, наприклад бортовий комп’ютер і/або електронна версія журналу ТУ-152Е. На цій основі потім можна запровадити автоматичний контроль та управління ТОіР за допомогою електронного журналу ТУ-28Е, або більш продвинутою системою «Мережевий графік», яка автоматично обробляє ТУ-152Е і планує час та обсяг проведення

ремонтів, аналізує характер і частоту виникнення несправностей і дає рекомендації щодо їх усунення та запобігання. Найголовнішою інновацією, яка об'єднує всі ці напрями, є створення спеціального інструменту «Електронний паспорт локомотива». Така система містить або має доступ до (залежно від типу зберігання даних) даних випробувань обладнання окремо та ВРС в цілому, результатів діагностики та дефектоскопії, статистики відмов і поломок, заміни обладнання, виконування технічного обслуговування та ремонтів. Це дає змогу на кожному етапі ТОіР не тільки виконувати необхідний обсяг робіт для забезпечення справного стану ТРС, але й вживати заходів щодо підвищення їхньої якості, надійності обладнання та зменшення кількості ремонтів, автоматизувати процеси передавання локомотива на обслуговування чи ремонт, визначати обсяг робіт, перевіряти наявність запасних вузлів та ін. Також однією зі складових є АСУ «Вартість життєвого циклу онлайн», яка має особливий інтерес завдяки можливості збирати і аналізувати великі об'єми інформації про економічну ефективність локомотива за весь час його експлуатації до моменту утилізації і разом з цим виявляти проблеми зниження ефективності та пропонувати рішення для покращення рентабельності експлуатації [9].

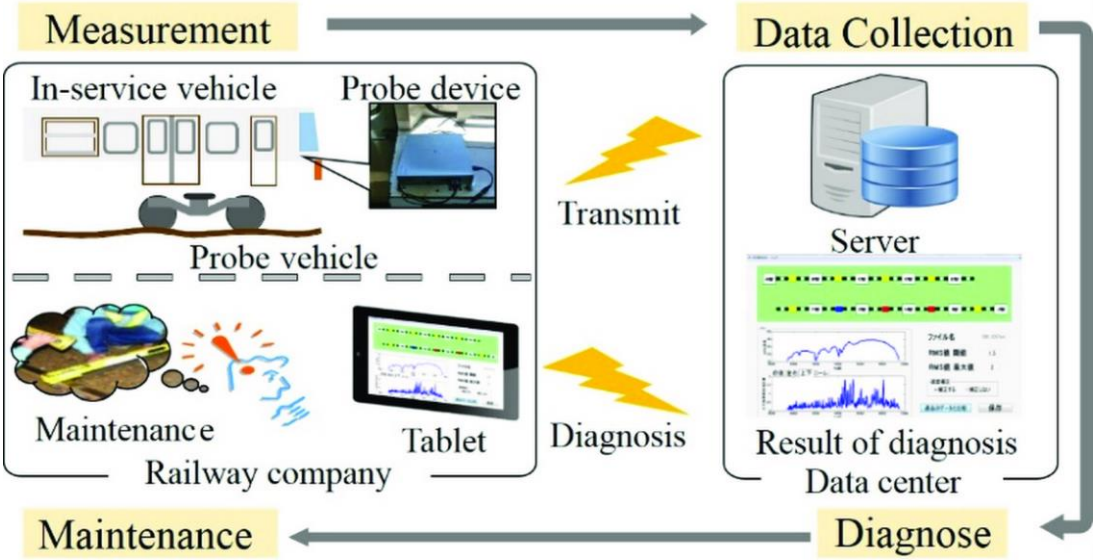

Рис. 3. Схема роботи предиктивної діагностики

Але слід зазначити, що технічний стан ВРС – це синергія багатьох факторів, серед яких не тільки відповідне конструктивне рішення і технологія обслуговування, а й безпосередньо якість обслуговування. Стрімке та постійне вдосконалення конструкції високошвидкісного рухомого складу призводить до його ускладнення (електричних апаратів, електронного силового обладнання на базі тиристорів і транзисторів типу IGBT, мікропроцесорних систем управління та ін.), через що ремонт та обслуговування потребує не просто високої кваліфікації працівників і більшого часу на ремонт, але і їх постійного вдосконалення. Це створює необхідність вдосконалювати систему ТОіР, що ускладнює експлуатацію ВРС і сприяє виникненню проблем для компанії-перевізника.

Через це всі перевізники світу переходять на систему обслуговування та ремонту за контрактом життєвого циклу (КЖЦ, Life Cycle Contract) силами виробника. КЖЦ є довгостроковою угодою, зазвичай тривалістю понад 20 років [4], на проєктування, виробництво, постачання, обслуговування, ремонт і утилізацію тягового рухомого складу на фінансових умовах відповідно до договору. Оплата послуг з обслуговування та ремонту відбувається за звичною системою, при цьому викладені в контракті принципи та засади взаємодії сторін можуть допускати можливість передавання своїх зобов'язань щодо обслуговування та ремонту ТРС іншим сервісним компаніям, але виробник все ще відповідальний за виконання або невиконання умов контракту. КЖЦ також відрізняється більш високими та жорсткими вимогами щодо якості та суворості виконання технічного обслуговування та ремонту рухомого складу, його надійності, відомими у світі як «Service Level Agreement» (SLA) [3]. При цьому різко посилюються штрафні санкції за невиконання умов контракту. Особливо цікавим є КЖЦ від виробника ВРС, який має змогу порівнювати вартість виготовлення та вартість обслуговування ВРС і, отже, визначати оптимальні витрати, як показано на рис. 4 [7].

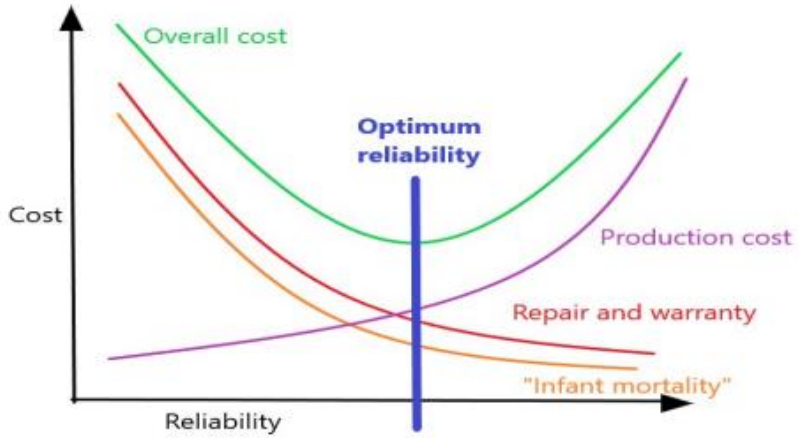

Рис. 4. Графік порівняння вартості та надійності

Алгоритм управління контрактом життєвого циклу відрізняється наявністю зворотного зв'язку, що забезпечує його роботу за принципом замкненого циклу постійного покращення Едварда Демінга «PDCA» (Plan, Do, Check, Act). Завдяки цьому можливий не лише ремонт несправностей, а й їх аналіз та усування на стадії будівництва інших серій або моделей локомотивів, модернізація наявних і отримання достовірних даних, які підтверджують працездатність і ефективність пристроїв і вузлів локомотива після проведення ТОіР.

Використовуючи результати досліджень, наведені в роботі [6], можна показати перевагу постачання електропоїзда ЕКр1 за умовами контракту життєвого циклу, використовуючи метод «зважених оцінок». Для цього виберемо найважливіші критерії сервісу, визначимо їхню важливість і проставимо оцінки за відповідного способу постачання ВРС. У такий спосіб можна визначити, що варіант закупівлі електропоїздів «Тарпан» за типовим договором поставки з наступним укладанням договору на ремонт і обслуговування з третьою стороною є найменш бажаним. Хоча витрати на обслуговування є найнижчими і тому найпривабливішими, за цим варіантом це позначається на низькій якості ТОіР, що призводить до зниження надійності локомотива та економічних збитків. У той же час поставка такого рухомого складу за контрактом життєвого циклу виявилася кращою з приблизно однаковим результатом як з укладанням договору зі сторонньою сервісною компанією, так і заводом-виробником. За безпосереднього обслуговування від заводу-виготівника отримують найвищу якість обслуговування та ремонту і через це, як наслідок, високу надійність і безпеку, але за значної його вартості. КЖТ з обслуговуванням сторонньою сервісною компанією різко відрізняється нижчою якістю ТОіР, але відповідно має меншу вартість із кращим рівнем логістики запчастин, що також робить привабливим виборір за невеликої рентабельності перевезень (таблиця).

Таблиця

Порівняння поставки ЕКр1 методом зважених оцінок

Критерій	Важливість критерія	Варіант поставки рухомого складу					
		не КЖЦ		КЖЦ з обслуговуванням від сервісної компанії		КЖЦ від завода-виробника	
		Оцінка варіанту	Загальний балл	Оцінка варіанту	Загальний балл	Оцінка варіанту	Загальний балл
Якість обслуговування та ремонту	4	1	4	3	12	5	20
Вартість сервісного обслуговування	3	5	15	3	9	2	6
Рівень організації логистики запчастей та матеріалів	2	5	10	5	10	2	4
Ступінь залучення контрагентів в життєвому циклі локомотива	1	1	1	3	3	5	5
Результат		30		34		35	

Перспективним кроком у покращенні якості сервісу є проєкт «Цифрове депо», який передбачає автоматизацію та цифровізацію рутинних процесів, передавання та обмін інформацією, процеси управління персоналом, постановку та визначення обсягів робіт на обслуговування або ремонт, процеси формування оперативної звітності та реалізації моніторингу показників, а також використання нових підходів до ремонту, таких як технічний зір і доповнена реальність, 3D-принтери, роботи.

Одним із найпроривніших напрямів сучасних технологій Інтернету Речей є «цифровий зір», який дає змогу за допомогою даних, отриманих із цифрових відеокамер, розпізнавати різні об'єкти: людей, предмети, номери вагонів, УЗД і багато іншого. У локомотиворемонтному комплексі цифровий зір знайшов корисне застосування під час діагностування локомотива за допомогою планшетних комп'ютерів (рис. 5, а) та огляду поїзда, що стоїть на колії, за допомогою камер спостереження (рис. 5, б) і навіть роботів. На залізничному транспорті провідних локомотиворемонтних компаній уже налагоджено технологію розпізнавання профілю бандажа колісної пари та діагностування його технічного стану. Також здійснюють спроби перенесення місця роботи машиніста у стаціонарний офіс із дистанційним управлінням рухом поїзда, а також безпілотне ведення поїзда автоматичною системою управління з розпізнаванням перешкод, сигналів світлофорів і знаків, положення стрілочних переводів та ін.

Рис. 5. Цифровий зір на залізничному господарстві:
а – розпізнавання деталей вузла для ремонту;
б – розпізнавання номера вагона

Іншою дуже корисною інновацією Індустрії 4.0 є 3D-принтери. У ремонті високошвидкісного рухомого складу це насамперед друкування деталей, що були зняті з виробництва або їх важко отримати, деталі з великими вимогами щодо якості виготовлення, різні пластикові елементи, такі як перемикачі, корпуси, панелі та інше. Сьогодні для тривимірного друку використовують кілька десятків видів металевої сировини у форматі сферичних гранул розміром від 4 до 80 мікронів (рис. 6, а), різні металеві стрижні для наплавлення (рис. 6, б) або мотки пластикового дроту. При цьому щільність матеріалу друкованих деталей перевищує показники лиття, а також майже відсутні відходи матеріалів і досягнено максимальної точності виготовлення. Найбільш популярні металеві порошки для 3D-друку бувають як на основі кольорових металів (алюмінієві, титанові, мідні, кобальт-хром), так і зі сплавів, в основі яких залізо. Головними перевагами такої технології є можливість виготовлення пластикових деталей будь-якого кольору, форми, складності і металевих деталей із високими вимогами щодо допуску, міцності, якості обробки поверхні, відсутні внутрішні напруження після виготовлення, зазвичай нема потреби обробляти поверхню, вироби складної форми виготовляють набагато швидше, ніж традиційним литтям і подальшою обробкою, при цьому швидкість виготовлення деталей зазвичай вища, ніж швидкість їх доставлення після замовлення з інтернету або у спеціалізованого постачальника.

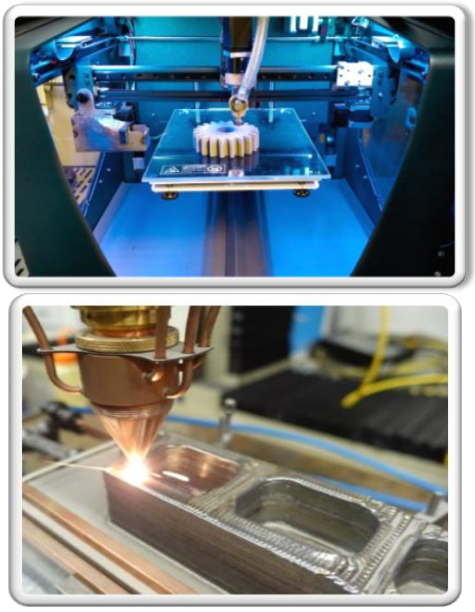

Рис. 6. Результат 3D-друку металевим порошком (а),
3D-друк металевої деталі наплавленням (б)

Також велику перспективу мають роботи, які дають змогу автоматизувати виконання однотипних операцій. На сьогодні їх уже можуть використовувати для перевірки стану штучних споруд у важкодоступних і віддалених місцях, стану контактної підвіски, загального стану верхньої будови колії або рухомого складу, розміщеного на оглядовій канаві (рис. 7, а). А компанія Alstom у співробітництві з ANYbiotics вже показала своїх роботів-собак, які можуть виконувати огляд вагонів і рухомого складу під час їх стоянки та ремонту, при цьому завдяки своєму розміру вони можуть переміщуватися безпосередньо під візками та оглядати, наприклад, стан візків, колісну пару, гальмівне обладнання, тягові електродвигуни, які інакше оглянути можна тільки на оглядовій канаві депо (рис. 7, б) [10, 11]. Прикладом є робот Warthog, обладнаний позашляховим шасі, двома бортовими комп'ютерами та рукою-маніпулятором для переміщення невеликих запчастин чи інструменту або LiDAR сканером із кутом огляду 360 градусів для огляду колійного полотна, штучних споруд і рухомого складу. Іншим є робот ANYmal, обладнаний чотирма лапами та LiDAR сканером.

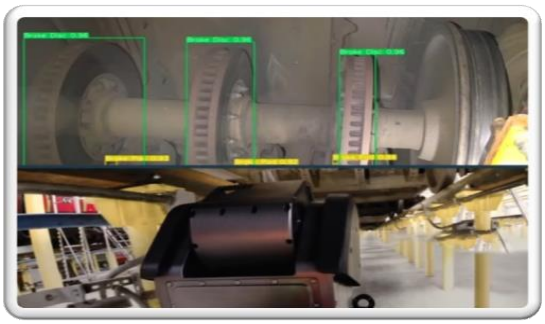

Рис. 7. Використання роботів для огляду високошвидкісного рухомого складу:
а – огляд роботом із рукою-камерою; б – вид «очима» робота виробництва Alstom

Завдяки такому шасі він має змогу підійматися до салону пасажирських вагонів для їх огляду, а також протискатися під рухомим складом та оглядати його знизу безпосередньо на станційних коліях.

Висновки.

Як показав досвід провідних закордонних компаній, система сервісу завдяки явному поділу обов'язків і відносин між перевізником і виконавцем сервісу, а також новій системі оплати послуг забезпечує значне зростання якості ТОіР високошвидкісного рухомого складу.

1. Глибокий аналіз планово-попереджувальної та предиктивної моделей сервісу та визначення їхніх переваг і недоліків дає змогу зазначити про доцільність використання змішаної моделі сервісу, за якої досягають оптимальних витрат на виготовлення сучасного ВРС і виконання його ТОіР.

2. Контракт життєвого циклу дає змогу значно підвищити якість виконання ТОіР завдяки вищим вимогам, зазначеним у Service Level Agreement, створенню перехідного запасу та постійній участі в життєвому циклі рухомого складу його виробника, але за вищої вартості.

3. Запровадження сучасних цифрових технологій дає змогу в майбутньому значно збільшити продуктивність сервісу завдяки підвищенню рівня автоматизації, продуктивності та безпеки процесу ремонту, частковій локалізації виробництва запчастей та online-допомозі працівнику для обслуговування або ремонту.

Список використаних джерел

1. Бабанін О. Б., Жалкін С. Г. Організація технічних обслуговувань локомотивів: конспект лекцій. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Ч. 1. 53 с.

2. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового та моторвагонного рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро- та дизельпоїздів) / Міністерство інфраструктури України, Державна адміністрація Залізничного Транспорту, Укрзалізниця. Київ, 2015. 27 с.

3. Чукаєва І. К. Контракти життєвого циклу: можливості та ризики використання в рамках державно–приватного партнерства в Україні. *Формування ринкових відносин в Україні: зб. наук. праць.* 2019. № 4. С. 24-31.

4. Крашенінін О. С., Щипак Є. В., Матвієнко С. А., Шапатіна О. О. Обґрунтування оптимального терміну експлуатації тягового рухомого складу. *Зб. наук. праць ДонІЗТ.* 2011. № 25. С. 126-128.

5. Дацун Ю. М., Данько В. М., Клименко О. В., Максимов М. В. Основи технології ремонту

локомотивів: конспект лекцій. Харків: УкрДУЗТ, 2014. Ч. 1. 72 с.

6. Крашенінін О. С., Яковлев С. С. Оцінка конкурентоспроможності швидкісного рухомого складу українського виробництва. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 174. С. 96-105.

7. Надійність залізничного рухомого складу: конспект лекцій / В. Г. Пузир, О. С. Крашенінін, О. В. Клименко, І. Г. Крамчанин. Харків УкрДУЗТ, 2020. 103 с.

8. Heidi Lundberg Reliability estimates in electronics industry. Reliability study in the HFC network. TUAS, Turku, Finland. 2020. ст 18.

9. Обозний О. М. Удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів на основі електронного паспорту: дис. … канд. техн. наук: 05.22.07. Харків, 2021. 162 с.

10. Alstom Smart maintenance through AI and robotics. URL: https://www.youtube.com/watch?v=c9xOix-SsGY (дата звернення 23.12.2024).

11. ANYbiotics ANYbotics and Stadler Service AG Explore the Future of Train Maintenance. URL: https://www.anybotics.com/news/robotic-inspectionintrain-maintenance/ (дата звернення 23.12.2024).

12. Spandan Mishra, Susheel K. Yadav, Taru Singhal, Howard Chung Hybrid prognostics model for Life cycle management of High Speed train. 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/ 328998505 (дата звернення 23.12.2024).

13. Shuwen Wang, Hao Yan, Caixia Liu, Ning Fan, Xiaoming Liu, Chengguo Wang Analysis and prediction of high-speed train wheel wear based on SIMPACK and backpropagation neural networks. URL: https://www.researchgate.net/publication/ 376521551 (дата звернення 23.12.2024).

O. S. KRASHENININ, O. V. USTENKO, V. M. KOSENKO Evaluation of the effectiveness of service introduction in the high-speed transport repair system

Abstract. *Currently, over 90 % of Ukrainian Railways' rolling stock is completely worn out and require immediate replacement, but, considering new technologies and requirements for the construction of new locomotives, they would also require a new, higher quality maintenance. The answer to that problem would be organization of service system of high-speed transport, executed by third-party private companies. That would allow the carrier to concentrate its efforts on efficient operation of trains and ensuring traffic safety, while the service company will ensure proper technical condition of rolling stock and constant modernization of repair system. Payment is made not for the volume of maintenance performed, but for the kilometers of useful mileage of the locomotive and its time in the operating fleet. Today, service have two popular execution systems: preventive repairment and predictive maintenance. Preventive repairment represents a set of technological measures and operations designed to ensure operability, executed according to a predetermined plan. Preventive maintenance consists in predicting the condition of the node in the near future based on information obtained through automated continuous diagnostics and analysis of devices during operation, with the subsequent transfer to the service depot of the repair personnel of this information about the presence of parameters deviating from the reference ones and errors in the operation, as well as recommendations for correcting the corresponding malfunctions. The most effective solution would be to implement so-called mixed system to ensure effective and optimal usage of financial resources for the operation of the locomotive with its appropriate use and maintenance. Another important part of the service is Life Cycle Contract, which is a long-term agreement (usually 20 years or more) on design, production, supply, maintenance, repair and disposal of high-speed rolling stock on financial terms in accordance with the contract. Additionaly, the implementation of modern IT solutions is considered. They have the potential to greatly simplify the process of service and increase its production thanks to automation of certain processes and digitalization of data transfer and storage. Such technologies are: machine vision, augmented reality, 3D printers and robots.*

Key words: *service, proper technical condition, preventive repairment, predictive maintenance, constant modernization, Life Cycle Contract, kilometers of useful mileage.*

Крашенінін Олександр Семенович, д.т.н. проф каф. ЕРРС УкрДУЗТ Тел.: 097-991-10-99. E-mail: pomndu@ukr.net

Устенко Олександр Вікторович, д.т.н. проф. каф. ЕРРС УкрДУЗТ, E-mail: av.ustenko@gmail.com

Косенко Вадим Миколайович, магістр кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: 097-971-36-67. E-mail: thetwin-moonknight@gmail.com.

Krasheninin Olexander, Ph.D., professor of maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transp
ort. Tel.: 097-991-10-99. E-mail: pomndu@ukr.net.

Ustenko Olexander, PhD, professor of maintenanct and repair of rolling stock USURT Tel. 0504022411

Kosenko Vadym, graduate student of maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 097-991-10-99. E-mail: thetwinmoonknight@gmail.com.