

Diagnostyka infrastruktury linii kolejowych jako element cyfryzacji kolei rosyjskich

Janusz POLIŃSKI¹

Streszczenie

Diagnostyka techniczna jest integralną częścią procesu utrzymania linii kolejowych. Przeprowadzona w odpowiednim czasie konserwacja, oprócz zapewnienia bezpieczeństwa oraz niezawodności funkcjonalnej i technicznej obiektu infrastruktury, wpływa na zmniejszenie kosztów utrzymania oraz eliminuje lub ogranicza straty, spowodowane przestojami w wyniku awarii lub przedwcześnie podjętych napraw. Narzędzia diagnostyczne infrastruktury dróg kolejowych przeszły ewolucję, związaną m.in. z miniaturyzacją przyrządów, zwiększeniem dokładności odczytów przy większych prędkościach, a także wzrostem stopnia automatyzacji procesów pomiarowych oraz analizy otrzymanych wyników. Obecnie, dane uzyskiwane z wielofunkcyjnych narzędzi diagnostycznych są podstawą tworzonego modelu cyfrowego utrzymania i obsługi infrastruktury kolei rosyjskich. Kierunkiem strategicznym w rozwoju mobilnych laboratoriów diagnostycznych jest stopniowe przechodzenie do rozwiązań z rozwiniętą analizą cyfrową, wspomaganą sztuczną inteligencją, monitorowaniem i prognozowaniem. W artykule przedstawiono rozwój mobilnych laboratoriów diagnostyki stanu infrastruktury linii kolejowych, aż do obecnych rozwiązań, w których pomiary odbywają się bez udziału człowieka, a uzyskane informacje w czasie rzeczywistym są przekazywane do centrów analityczno-decyzyjnych.

Słowa kluczowe: transport kolejowy, wagony pomiarowe, cyfryzacja kolei, koleje rosyjskie

1. Wstęp

Utrzymanie w pełnej przydatności eksploatacyjnej infrastruktury linii kolejowych obejmuje kilka istotnych działań, do których w szczególności zalicza się proces diagnozowania stanu technicznego, konserwację, remonty i modernizację. Główne zadania związane z utrzymaniem infrastruktury sprowadzają się do:

- zapewnienia stanu technicznego w granicach ustanowionych przez normy i warunki techniczne gwarantujące bezpieczną eksploatację,
- zagwarantowania możliwie najdłuższych okresów pracy wszystkich części składowych nawierzchni drogi kolejowej, sieci trakcyjnej i innych składników infrastruktury linii kolejowych,
- zapobiegania sytuacjom awaryjnym,
- usuwania przyczyn i ewentualnych skutków niewłaściwego stanu infrastruktury.

Efektywne utrzymanie infrastruktury wymaga ciągłego nadzoru jej stanu technicznego, określonego na podstawie diagnozowania i ustalenia na tej podstawie miejsc i przyczyn usterek, a także określenia za-

kresu niezbędnych do wykonania prac, przywracających pierwotne właściwości eksploatacyjne. Niniejszy artykuł dotyczy niektórych narzędzi diagnostycznych w mobilnych laboratoriach, wykorzystywanych przez koleje rosyjskie do badania stanu infrastruktury linii kolejowych.

Poziom rozwoju nowoczesnej diagnostyki stawia ją na czele procesu cyfryzacji kolei. Obecnie można twierdzić, że stopniowo mija czas, gdy głównym jej celem było jedynie zapewnienie bezpieczeństwa ruchu pociągów. W okresie intensywnego rozwoju systemów i narzędzi diagnostycznych, automatyzacji procesów pomiarowych, a także przetwarzania i analizy informacji uzyskanych na drodze diagnostycznej, rysuje się jej nowy cel, który polega na racjonalnym i wydajnym utrzymaniu infrastruktury na podstawie jej rzeczywistego stanu oraz zminimalizowaniu kosztów.

Czytając różne opracowania na ten temat, można odnieść wrażenie, że obecnie głównym celem diagnostyki, oprócz naprawy stwierdzonych nieprawidłowości, staje się ciągłe monitorowanie infrastruktury. Umożliwia ono ustalenie faktycznego stanu technicznego tak, aby w odpowiednim momencie podjąć dzia-

¹ Dr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów; e-mail: jpolinski@ikolej.pl.

łania zapobiegawcze. Prowadzi to z jednej strony do oszczędzania środków, z drugiej zaś ogranicza możliwość wystąpienia sytuacji awaryjnych, wpływających m.in. na płynność ruchu kolejowego.

Prawne działania sprawdzające są z natury najbardziej „konserwatywną” częścią systemu diagnostycznego, ponieważ są oparte na teoretycznych i naukowych zasadach projektowania infrastruktury, technologii budowy, późniejszej eksploatacji i utrzymania. Najważniejszym składnikiem powstawania prawa powinno być wieloletnie doświadczenie, oparte na znajomości wielu zdarzeń, ich przyczyn i skutków, a także na przewidywaniu, o czym niejednokrotnie wspominał prof. Henryk Bałuch z Instytutu Kolejnictwa [1]. Na podstawie takich doświadczeń można opracować ramy prawne. W celach porównawczych warto przy tym śledzić rozwiązania zagraniczne.

Obecne przemiany w gospodarce charakteryzuje transformacja cyfrowa. Dzięki cyfrowym technologiom przetwarzania danych i ich analizie, uzyskuje się szybki dostęp do informacji wykorzystywanych do efektywnego utrzymania infrastruktury linii kolejowych lub taboru przewozowego. Główne kierunki rozwoju systemu diagnostyki i monitorowania infrastruktury kolei rosyjskich mają na celu maksymalne ograniczenie stosowania ręcznych narzędzi diagnostycznych, usuwanych z toru na czas przejazdu pociągu i zastępowanie ich urządzeniami mobilnymi.

Jednym z głównych zadań określonych w „Strategii rozwoju transportu kolejowego w Federacji Rosyjskiej do 2030 roku” [15], oprócz podniesienia poziomu bezpieczeństwa funkcjonowania transportu kolejowego, a także zwiększenia zadań przewozowych w ruchu pasażerskim i towarowym, jest budowa i rozwój kolei dużych prędkości w nadchodzących latach. Uzupełnieniem tych działań, jest projekt diagnozowania infrastruktury kolejowej, jako systemu ukierunkowanego na zwiększenie wydajności jej funkcjonowania [3].

Celem artykułu jest przybliżenie (rozwijanych obecnie na kolejach rosyjskich) rozwiązań mobilnych laboratoriów diagnostycznych, służących do badań stanu technicznego infrastruktury i wskazujących na tej podstawie miejsca, zakresy, priorytety oraz czas wykonania niezbędnych prac naprawczych.

2. Etapy rozwoju diagnostyki linii kolejowych

Diagnostyka techniczna jest integralną częścią procesu utrzymania linii kolejowych. W wyniku przeprowadzonych w odpowiednim czasie robót naprawczych, oprócz zapewnienia bezpieczeństwa oraz niezawodności funkcjonalnej i wydajności obiektu infrastruktury, zapewnia się obniżenie kosztów utrzy-

mania oraz eliminuje lub ogranicza straty spowodowane przestojami w wyniku awarii lub przedwcześnie podjętych napraw.

W 2009 roku koleje rosyjskie zatwierdziły „Program rozwoju systemu diagnostycznego i monitorowania infrastruktury”. Przewidywał on sukcesywną wymianę do 2015 roku wyposażenia badawczego oraz modernizację istniejących narzędzi diagnostycznych. Przewidywał także wykorzystanie do 2030 roku nowych technologii cyfrowych i stosowania przede wszystkim mobilnych narzędzi diagnostycznych. Istotnym wówczas hasłem do planowanych działań było twierdzenie, że kompleksowa diagnostyka infrastruktury jest kluczem do poprawy bezpieczeństwa ruchu pociągów.

Dokument z 2009 roku był zastąpiony w 2016 roku przez nowy akt prawny pt. „Koncepcja rozwoju systemów diagnostycznych i monitorowania obiektów torowych w okresie do 2025 roku” [10]. Sprecyzowano w nim główne zadania dotyczące innowacyjnych metod diagnostycznych w modernizowanych urządzeniach pomiarowych. Wskazano także, że do powszechnego wykorzystywania innowacyjnych, mobilnych środków kompleksowej diagnostyki infrastruktury, konieczne jest uwzględnienie w planie rozwoju naukowego i technicznego odpowiednich zadań, wpływających na rozwój wykorzystywanych metod i technologii diagnostycznych. Nowe, zintegrowane narzędzia do diagnozowania i monitorowania obiektów infrastruktury, powinny uwzględniać m.in. ich specjalizację, dopuszczalną prędkość i obciążenie linii ruchem kolejowym. Dokument zawiera wiele wskazówek metodycznych. I tak, aby zdiagnozować infrastrukturę linii o zwiększonej prędkości, należy zapewnić stosowanie m.in. [10]:

- systemów pomiarowych (przede wszystkim do pomiaru i oceny płynności jazdy) zamontowanych na taborze, z automatycznym przesyłaniem danych do centrów kontroli utrzymania infrastruktury,
- systemów diagnostycznych, montowanych na taborze o właściwościach technicznych podobnych do istniejących w taborze, który wykonuje zadania przewozowe na konkretnych liniach,
- defektoskopów, stanowiących wyposażenie wagonów pomiarowych, monitorujących szyny przy prędkościach jazdy do 120 km/h.

W odniesieniu do linii kolejowych o szczególnie dużym natężeniu ruchu osobowego i towarowego, zaleca się stosowanie [10]:

- szybkich systemów diagnostycznych, zawierających systemy pomiaru ruchu, systemy wykrywania wad i systemy monitorowania wideo z automatycznym rozpoznawaniem wizualnym możliwych do zidentyfikowania wad podkładów, przytwardzeń szyn i podsypki, zamontowanych na taborze o właści-

wościach technicznych podobnych do właściwości taboru kursującego na konkretnych liniach,

- systemów diagnostycznych umieszczonych na lokomotywach, co zapewnia kontrolę toru pod zwiększonym obciążeniem, w celu identyfikacji niestabilnych odcinków toru.

Narzędzia diagnostyczne przeszły znaczną ewolucję. Ich rozwój był związany z intensywnym budowaniem funkcjonalności, wzrostem stopnia automatyzacji procesów pomiarowych oraz analizą otrzymanych informacji. W dalszych pracach łączono funkcjonalność poszczególnych narzędzi pomiarowych z automatyzacją, przy zachowaniu swartości wykonania urządzeń pomiarowych, uzyskiwania danych w czasie rzeczywistym, a także ich przesyłaniem do miejsc decyzyjnych. Obecnie, definiując nową generację narzędzi diagnostycznych, do wszystkich zgromadzonych możliwości dodano wbudowaną sztuczną inteligencję, autonomię oraz pełną integrację z eksploatowanym taboru. Ponadto, narzędzia najnowszej generacji wdrażają elementy „Internetu rzeczy”. Lokalna sieć pokładowa łączy w złożony, zintegrowany system, wszystkie narzędzia pomiarowo-diagnostyczne, wykluczając ingerencję człowieka w procesy pomiarowe, opracowywanie wyników i propozycje wymaganych decyzji.

Diagnostyka infrastruktury jest coraz częściej prowadzona przez wielofunkcyjne zespoły diagnostyczne pracujące w trybie wahadłowym i zdolne do działania w pociągu pasażerskim. Dane uzyskane z wielofunkcyjnych narzędzi diagnostycznych są podstawą modelu cyfrowego utrzymania i obsługi infrastruktury kolei rosyjskich. Innowacyjne rozwiązania mają również wpływ na rozwiązywanie problemów dotyczących zwiększania przepustowości linii kolejowych [16]. W takim kierunku rozwijają się środki diagnostyki infrastruktury nie tylko w Rosji, ale także w Niemczech, Szwajcarii i innych krajach europejskich.

Na rozwój diagnostyki kolei rosyjskich wpływa także udział RZD (translit. – *Rossijskie železnije dorogi*) w pracach różnych organizacji międzynarodowych, np. w Międzynarodowej Organizacji Monitorowania Stanu i Zarządzania Inżynierią Diagnostyczną (COMADEM), w której opracowuje się temat „Diagnostyka techniczna i monitorowanie”. Każdego roku odbywa się międzynarodowy kongres w celu wymiany doświadczeń między naukowcami i praktykami z różnych krajów pracujących w tej dziedzinie. Głównym celem kongresów jest wymiana doświadczeń między

ekspertami w zakresie rozwoju różnych metod dotyczących systemów informatycznych (technologii informatycznych), zintegrowanych narzędzi pomiarowych i monitorowania [10].

W Rosji istnieje związek badawczo-produkcyjny RISCUM, będący organizacją zrzeszającą wiele firm diagnostycznych i naukowców z Rosyjskiej Akademii Nauk. Działający w jego ramach komitet diagnostyki technicznej wykonuje wiele prac przydatnych do rozwoju diagnostyki infrastruktury kolejowej i taboru. Obecnie rozwijane są systemy monitorowania i diagnostyki technicznej złożonych systemów technicznych, a także oceny ryzyka i prognozowania stanu technicznego² [10].

3. Przegląd rozwiązań mobilnych laboratoriów diagnostycznych

W zakresie diagnostyki stanu infrastruktury kolejowej w mobilnych laboratoriach, koleje rosyjskie wyróżniają kilka etapów jej rozwoju dotyczących: unowocześniania technik pomiarowych i ich dokładności, poziomu informatyki i wykorzystywania technologii cyfrowych³:

- okres do 2000 roku, w którym wagony – laboratoria diagnostyczne, były wyposażone w urządzenia zmechanizowane o wąskiej specjalizacji, w niewielkim zakresie wykorzystujące osiągnięcia elektroniki (np. modele laboratoriów typu KWL-P oraz CNII-2),
- lata 2000–2007, w których w dalszym ciągu wykorzystywano urządzenia zmechanizowane, wspomagane nowymi rozwiązaniami elektronicznymi, co umożliwiałało poszerzenie możliwości pomiarowych (np. modele laboratoriów typu KWL-ARKS oraz CNII-4),
- lata 2007–2011, kiedy częściowo zmechanizowane urządzenia pomiarowe zastępowano urządzeniami z pełną automatyzacją, przez co poszerzono możliwości pomiarowe (np. modele laboratoriów DKI ERA, INTEGRAL),
- lata 2011–2014, kiedy automatyzację zaczęły wspierać zminiaturyzowane urządzenia pomiarowe, co umożliwiło ich stosowanie w lokomotywach zamienianych na trakcyjne jednostki pomiarowe (np. lokomotywy: SMDL-2TE116, SPL-CzS200, WL-11),
- lata 2015–2017, w których szczególną rolę zaczęła odgrywać autonomia, wykorzystująca rozwój automatyzacji, miniaturyzacji, sztucznej inteligencji

² Celem prognozowania stanu technicznego, zgodnie z normą GOST 20911-89, jest określenie przedziału czasu, podczas którego utrzymywany jest stan roboczy obiektu.

³ Należy zauważyć, że każdego dnia na sieci kolei rosyjskich znajduje się w eksploatacji około 8,5 tys. urządzeń do pomiaru stanu nawierzchni torowej i szyn, obsługiwanych przez 14 tys. pracowników [2].

(np. dostosowany do pomiarów pasażerski skład Infotrans – Velaro RUS Sapsan,

- okres po 2017 roku, kiedy do diagnostyki zaczęto stosować nowe rozwiązania technologii cyfrowych i sztucznej inteligencji (np. wagony typu DKI ERA+, ezt Infotrans – Łastoczka).

W miarę upływu lat, kierunkiem strategicznym w rozwoju mobilnych laboratoriów diagnostycznych było stopniowe przechodzenie do rozwiązań z rozwiniętą analityką cyfrową, wspomaganą sztuczną inteligencją, monitoringiem i prognozowaniem. Obecnie, koleje RZD eksploatują: 65 wagonów diagnostycznych, 90 wagonów laboratoryjnych i 76 wagonów z zapleczem dla personelu wykonującego pomiary ręczne.

3.1. Wagon pomiarowy CNII-2

Od 1960 roku rozpoczęto seryjną produkcję wagonu pomiarowego CNII-2 (rys. 1). Powstał on na bazie czterosiowego wagonu pasażerskiego, a wszystkie urządzenia pomiarowe zostały umieszczone na ramach wózków. Prędkość robocza tych wagonów wynosiła 70 km/h. W łukach do pomiarów przechyłki wykorzystywano system żyroskopowy, który nie podlegał działaniu siły odśrodkowej, wstrząsom i wibracji mechanizmów. Wyniki pomiarów były zapisywane na dwóch taśmach papierowych (głównej kopii i duplikacie). Odległości kilometrowe zaznaczano ręcznie. Parametry geometryczne toru takie jak: promień, długości krzywych przejściowych, przechyłka były określane na podstawie zapisów na taśmach. Wyniki odczytywane przez personel służyły do określenia dopuszczalnej prędkości jazdy.



Rys. 1. Wagon pomiarowy CNII-2 [20]

Od 1993 roku, zgodnie z państwowym programem poprawy bezpieczeństwa pociągów, wagony zaczęto wyposażać w nowe przyrządy pomiarowe, w tym pokładowy, automatyczny system oceny stanu torów (BAS). System służył do automatyzacji procesów monitorowania i oceny parametrów toru kolejowego, ze wskazaniem współrzędnych każdego odchylenia, jego wielkości i długości. Dane były odzwierciedlane zarówno na ekranie, jak i na taśmie rejestratora graficznego. Wraz z rozwojem technologii komputerowej i nowoczesnych przyrządów pomiarowych, znacznie

uproszczono mechaniczne części układu pomiarowego, zmniejszono jego bezwładność, wprowadzono automatyczne dekodowanie pierwotnych danych pomiarowych, minimalizujące błędy subiektywne.

3.2. Wagon pomiarowy CNII-4

W połowie lat 90-tych rozpoczęto produkcję wagonu pomiarowego typu CNII-4 (rys. 2), który służył głównie do sprawdzania parametrów toru kolejowego w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Zainstalowane urządzenia rejestrowały m.in. osiadanie toru, odchylenia od niwelety, szerokość toru, krzywiznę toru w płaszczyźnie poziomej, nachylenie profilu podłużnego, nierówności poziome i pionowe toru, przyspieszenie poziome i pionowe, prędkość wagonu i przebytą odległość. Wagony pomiarowe tego typu wykorzystywano do oceny zgodności z projektem rzeczywistych parametrów toru po zakończeniu prac naprawczych lub do identyfikacji odcinków wymagających prac naprawczych i ich kontroli przedprojektowej.



Rys. 2. Wagon pomiarowy CNII-4MA [21]

Wagony pomiarowe tego typu są stale unowocześniane. Czwartą generację CNII-4 wyposażono w laser do pomiarów ograniczeń skrajni, systemy telewizyjne, system żyroskopowy zintegrowany z odbiornikami satelitarnymi GLONASS/GPS do kontroli parametrów łuków, system do pomiaru układu geometrycznego toru w płaszczyźnie poziomej i pionowej, połączone przez wieloprocesorową sieć komputerową. Pod względem miejsca docelowego, objętości, stabilności i wydajności otrzymywanych informacji, dzisiejszy wagon CNII-4 nie ustępuje najnowszym wagonom pomiarowym firm MER-MEC oraz Plasser & Theurer. Wagon pomiarowy CNII-4 umożliwia przegląd planów i profili głównych linii. Badanie to jest przeprowadzane za pomocą precyzyjnego, bezwładnościowego systemu nawigacji, zintegrowanego z odbiornikami satelitarnymi GLONASS/GPS przy dużych prędkościach jazdy. Pomiary umożliwiają określenie długich nierówności oraz krytycznych załamów profili, które są istotne przy wyższych prędkościach jazdy pociągów. Istnieje także możliwość zidentyfikowania, rozpoznania i udokumentowania (w postaci zdjęć o wysokiej rozdzielczości) wad powierzchniowych, związanych np. z ubytkami metalu

na powierzchni główki szyny, brakiem przytwierdzeń lub ich części składowych. Kontroluje się ponad 20 parametrów. Zastosowane w wagonie systemy monitorowania wideo umożliwiają monitorowanie stanu podkładów, identyfikację niedoborów lub nadmiaru podsypki i jej zanieczyszczenia. Informacje są związane z kilometrażem linii. System wideo do precyzyjnego nadzoru elementów toru może rejestrować dane podczas jazdy z prędkością do 140 km/h.

Jednocześnie powstawały wagony specjalistyczne (pracujące samodzielnie lub w kompleksowych zespołach badawczych), służące do pomiarów określonej grupy parametrów infrastruktury drogi kolejowej, w tym:

- Wagon defektoskopowy RDM-WIGOR (rys. 3), przeznaczony do wykrywania wad szyn za pomocą ultradźwiękowych i magnetycznych metod testowych, z prędkością jazdy do 70 km/h).



Rys. 3. Wagon defektoskopowy RDM – WIGOR [14]

- Wagon ERA (rys. 4) do kompleksowego badania sieci trakcyjnej, urządzeń automatyki i telemechaniki tworzący zespół pomiarowy z drugim wagonem pomiarowym do pomiarów skrajni budowli, badań nawierzchni i podtorza, wskaźników dynamicznej interakcji toru i taboru, monitoringu wideo obiektów infrastruktury. W eksploatacji zastosowano dwa takie wagony pomiarowe. Pierwszy jest wykorzystywany od 2009 r. do badań na Kolei Północnego Kaukazu, a drugi od 2011 r. na Kolei Zachodniej Syberii.



Rys. 4. Wagon ERA do badania sieci trakcyjnej, urządzeń automatyki i telemechaniki [14]

3.3. Najnowsze rozwiązania wagonów pomiarowych na kolejach rosyjskich

Strategia rozwoju transportu kolejowego wymaga zintegrowanego podejścia do oceny stanu infrastruktury technicznej linii kolejowych z wykorzystaniem światowych doświadczeń. Zalety kompleksowej diagnostyki są następujące:

- zwiększenie niezawodności diagnostyki przez monitorowanie i analizę całego zakresu parametrów,
- zmniejszenie kosztów utrzymania narzędzi diagnostycznych i infrastruktury technicznej, ze względu na podejmowanie prac naprawczych zgodnie ze stanem faktycznym,
- zmniejszenie niezbędnego stanu wykwalifikowanego personelu, przy zachowaniu pomiarów wysokiej jakości, uzyskiwanych w zmiennych warunkach atmosferycznych i przy różnych temperaturach,
- diagnozowanie znacznie większej długości torów.

Utrzymanie infrastruktury dróg kolejowych zgodnie z zaprojektowanymi parametrami techniczno-eksploatacyjnymi, polega na szybkim reagowaniu na wszelkie uszkodzenia skutkujące obniżeniem prędkości, co zmniejsza przepustowość linii kolejowych.

W ostatnich latach rozpoczęto prace nad opracowaniem zespołu diagnostycznego do monitorowania obiektów infrastruktury o nazwie Integral (po polsku cała) do monitorowania obiektów infrastruktury. Zespół wykorzystuje: 16 kamer matrycowych, 12 kamer liniowych, 2 czujniki laserowe, 2 skanery laserowe, 180 czujników ultradźwiękowych, 49 czujników magnetycznych, 1 kamerę termowizyjną, 10 czujników temperatury. Umożliwia to rejestrację 117 parametrów stanu infrastruktury technicznej. Modułowość wykonania zintegrowanego zespołu diagnostycznego umożliwia również stosowanie wszystkich systemów w zespole, a także w osobnym trybie w dowolnej kombinacji. Wagony pomiarowe w zespole diagnostycznym umożliwiają jazdę z prędkością do 160 km/h, a zainstalowane w nich urządzenia są zaprojektowane do pracy z prędkością do 250 km/h.

Na rysunku 5 przedstawiono moduł pomiarowy do pomiarów skrajni budowli i diagnostyki sieci trakcyjnej, na rysunku 6 wagon defektoskopowy VD-UMT-2, przeznaczony do kompleksowej diagnostyki obiektów infrastruktury kolejowej z wykorzystaniem ultradźwiękowych, magnetycznych i optycznych metod badań nieniszczących.



Rys. 5. Wagon Integral na stanowisku kalibracji przyrządów pomiarowych [19]

Najnowszym rozwiązaniem pojazdu diagnostycznego infrastruktury jest zespół pomiarowy Sprinter Integral, który w 2016 roku przeszedł wszelkie wymagane próby techniczno-eksploatacyjne w celu uzyskania stosownych certyfikatów. Prace z tym związane trwały blisko trzy lata. Zespół składa się z wagonu socjalnego i wagonu pomiarowego (rys. 7). Zespół jest przeznaczony do pomiaru nawierzchni torowej i podtorza, sieci trakcyjnej oraz badania defektoskopowego szyn. Na wyposażenie składa się m.in.: wielokanałowy ultradźwiękowy defektoskop ECHO-COMPLEX-3 wraz z systemami śledzenia, bezdotykowy system pomiaru parametrów geometrycznych toru kolejowego SOKOL-2, system wizualnego i pomiarowego wykrywania wad CONS-2, system szybkiego trójwymiarowego skanowania laserowego Dimension, system do diagnozowania urządzeń automatyki i telemechaniki, oprogramowanie do zarządzania uzyskanymi wynikami pomiarów I [22]. Zespół jest jednocześnie ostatnią generacją rozwiązań wagonów pomiarowych serii Integral, który podczas jazdy jest w stanie mierzyć i poddawać ocenie 194 parametry elementów infrastruktury. Badanie sieci jezdnej może odbywać się zdalnie za pośrednictwem urządzeń laserowych (bez podnoszenia odbieraka prądu, który znajduje się na wyposażeniu pojazdu).



Rys. 6. Wagon defektoskopowy VD-UMT-2 przeznaczony do kompleksowej diagnostyki obiektów infrastruktury kolejowej z wykorzystaniem ultradźwiękowych, magnetycznych i optycznych metod badań nieniszczących [17]



Rys. 7. Zespół pomiarowy Sprinter Integral [8]

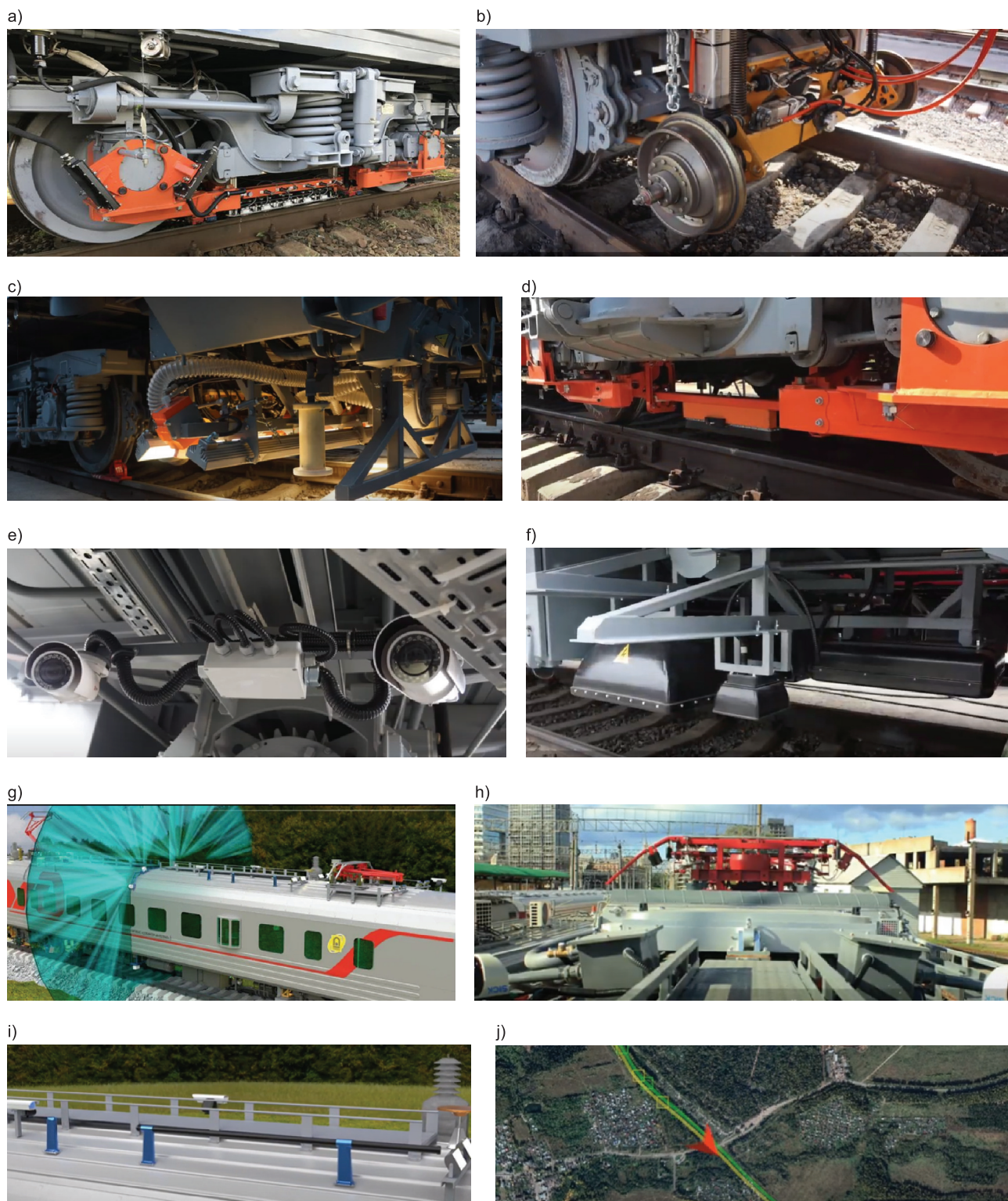
Szczególną uwagę należy zwrócić na innowacyjne rozwiązanie monitorowania szyn za pomocą ultradźwięków. Dzięki temu rozwiązaniu umożliwiono ich pomiary w pociągach jadących z prędkością do 140 km/h. Obecnie jeden z zespołów tego typu jest używany do stałego monitorowania linii pomiędzy

Moskwą i Petersburgiem. Według ekspertów, wraz z wprowadzeniem zespołu Sprinter Integral, koszty operacyjne sprawdzania 1 km toru są 2–3 razy mniejsze niż przy sprawdzaniu za pomocą innych środków mobilnych i 4–5 razy mniejsze niż przy sprawdzaniu za pomocą urządzeń wymagających usuwania ich z torów [16]. Na rysunkach 8a–j przedstawiono przykłady niektórych urządzeń pomiarowych, będących wyposażeniem wagonu pomiarowego. Objaśnienia do rysunków: 8c, f, g, h zamieszczono w tablicy 1.

Tablica 1

Objaśnienia do rysunku 8

Nr rys.	Treść
8c	Zasada działania systemu jest oparta na wizualnym wykrywaniu powierzchniowych wad szyn za pomocą systemu oświetleniowego liniowej kamery wideo, oświetlającego powierzchnię. Promienie światła odbite od powierzchni przechodzą przez szklaną obudowę, soczewkę kamery wideo i padają na matrycę. Powstały obraz jest konwertowany do postaci cyfrowej i przesyłany za pośrednictwem szybkiego interfejsu do serwera, na którym zapisywane są dane do późniejszego odszyfrowania. System umożliwia monitorowanie w czasie rzeczywistym i przetwarzanie 64 wykrytych wad, w tym pęknięć szyn, stanu przytwierdzeń, uszkodzeń złączy (w tym spawanych), uszkodzeń podkładów, podsypki itp.
8f	Zasada działania wielokanałowego układu georadarowego MGS opiera się na emisji impulsów fal elektromagnetycznych i rejestracji sygnałów odbitych od granic warstw badanych gruntów o różnych właściwościach elektrofizycznych. Takimi granicami są na przykład styki między gruntami suchymi i nasyconymi wodą, styki między skałami o różnym składzie litologicznym, między skałą i sztucznymi materiałami, między gruntami zamrożonymi i rozmrożonymi, między obszarami chronionymi geowłókniną. W wyniku badań uzyskuje się wiarygodny ciągły odcinek badanego ośrodka, który nazywa się profilem GPR lub radarogramem. Analiza profilu umożliwia operatorowi podejmowanie właściwych decyzji w celu zneutralizowania procesów niebezpiecznych dla podtorza i przeprowadzenia odpowiedniej naprawy. Georadar może działać przy prędkościach w zakresie od 0 do 120 km/h [18].
8g	System jest oparty na skanerze laserowym, który działa na podstawie pomiaru przesunięcia fazowego. Wysoka dokładność i jakość produkcji urządzeń umożliwia osiągnięcie minimalnego błędu pomiarowego w całym zakresie roboczym. Integracyjne możliwości systemu zapewniają wdrożenie takich funkcji, jak wspólne wykorzystanie skanowanych danych i informacji z systemów monitorowania i śledzenia wideo [18].
8h	W układzie pomiarowym nie ma ruchomych części. Wszystkie elementy działają w pozycji statycznej, co zwiększa dokładność pomiaru i eliminuje częste kalibracje systemu. System działa również w świetle dziennym i może wykonywać do 6000 pomiarów na sekundę, co zapewnia dużą dokładność pomiarów.



Rys. 8. Przykłady urządzeń pomiarowych i kontrolnych zespołu Sprinter Integral [4, 9]: a) urządzenie do badania wewnętrznych defektów szyn, b) fragment urządzenia do kontroli szerokości toru i jego układu geometrycznego toru, c) urządzenie do kontroli nawierzchni i wykrywania brakujących części, d) urządzenia systemu wykrywania zużycia główek szyn, e) urządzenia systemu monitoringu wizyjnego nawierzchni, f) georadar do szybkiej oceny stanu podtorza, g) system przestrzennego skanowania obiektów infrastruktury w poszukiwaniu elementów naruszających skrajnię budowli, h) system kontroli parametrów sieci trakcyjnej, i) system kontroli analogowych i cyfrowych sieci komunikacyjnych, j) lokalizacja GPS

Do końca 2020 roku koleje rosyjskie będą dysponowały siedmioma takimi zespołami pomiarowymi.

4. Urządzenia diagnostyczne montowane w pojazdach z własnym napędem

Do 2030 roku strategia rozwoju transportu kolejowego w Federacji Rosyjskiej przewiduje rozwój i wdrożenie najnowszych środków technicznych i technologii, które w zasadniczy sposób mogą wpłynąć na stan bezpieczeństwa ruchu pociągów oraz zmniejszenie kosztów bieżącego utrzymania infrastruktury, przez stosowanie samojezdných pojazdów diagnostycznych. Rodzaj pojazdu jest związany ze stawianymi zadaniami oraz rodzajami linii kolejowych, na których ma być prowadzona diagnostyka (obecnie eksploatuje się 76 pojazdów diagnostycznych z własnym napędem).

4.1. Samojezdny pojazd SEVER

Samojezdny pojazd SEVER (rys. 9) wykorzystuje konstrukcję autobusu szynowego typu RA1. Obecnie istnieje pięć następujących wersji tego pojazdu, różniących się przeznaczeniem.

1. Zespół diagnostyczny (różnorodne opcje układu wnętrza pozwalają wybrać żadaną konfigurację wyposażenia pojazdu do konkretnych zadań pomiarowych, którymi może być np. system do pomiaru parametrów geometrycznych toru kolejowego, ultradźwiękowe wykrywanie wad w szynach, trójwymiarowe skanowanie laserowe ograniczeń skrajni, georadar do monitorowania podtorza).
2. Zespół wtórnej diagnostyki i operacji awaryjnych w celu potwierdzenia wcześniejszych wyników badań i rozwiązywania problemów z obiektami infrastruktury zidentyfikowanymi podczas wstępnej diagnostyki. Zespół jest dodatkowo wyposażony w kabinę pasażerską z 15 miejscami siedzącymi oraz miejsce do przechowywania narzędzi i części zamiennych, umożliwiających transport ekip naprawczych z niezbędnym wyposażeniem do miejsca pracy.
3. Pojazd inspekcyjny, wyposażony w systemy monitoringu wizyjnego.
4. Zespół diagnostyczny do identyfikowania przyczyn niestabilności toru, diagnostyki warstwy podsypki i podtorza. Jest dodatkowo wyposażony w platformę wiertniczą oraz w zestaw narzędzi wiertniczych. Duży zestaw urządzeń umożliwia badania geologiczne.
5. Pojazd z zapleczem socjalnym do wygodnego transportu załóg naprawy torów wraz z narzędziami do miejsca pracy.



Rys. 9. Pojazd pomiarowy SEVER [13]

4.2. Spalinowa lokomotywa pomiarowa

Samojezdne, wielofunkcyjne laboratorium diagnostyczne na lokomotywie spalinowej 2TE116 (SMDL-2TE116) jest przeznaczone do automatycznego monitorowania stanu infrastruktury kolejowej w warunkach rzeczywistej interakcji toru z lokomotywą (rys. 10). Wyróżnia się:

- monitorowaniem parametrów infrastruktury pod obciążeniem – w warunkach rzeczywistej interakcji między torem, a lokomotywą,
- zestawem urządzeń umieszczonych w ograniczonej przestrzeni, służących do monitorowania szerokiego zakresu diagnozowanych parametrów infrastruktury,
- wysokim stopniem automatyzacji wszystkich procesów zarządzania, pomiaru, kontroli, oceny i analizy, co pozwala na zaangażowanie do pomiarów kilku pracowników,
- przygotowaniem zaplecza socjalnego dla załogi pojazdu pomiarowego.

Zespół diagnostyczny jest zdolny do monitorowania stanu infrastruktury toru, urządzeń automatyki i sygnalizacji oraz zapewnia kompleksową diagnostykę stanu sieci trakcyjnej i łączności radiowej pociągu, przy prędkościach roboczych do 100 km/h. Laboratorium jest uniwersalne i może pracować zarówno na zelektryfikowanym, jak i nieelektryfikowanym odcinku toru. Parametry toru są monitorowane pod naciskiem wynoszącym 23,7 t/oś, co jest szczególnie ważne w przypadku linii o dużym natężeniu ruchu towarowego, stąd pojazd jest wykorzystywany na linii BAM i Transsyberyjskiej. Podczas jednej kontroli monitoruje się ponad 120 parametrów obiektów infrastruktury technicznej, powstaje ponad 140 parametrów automatycznej oceny wyników i przetwarzania analitycznego [6].

4.3. Elektryczna lokomotywa pomiarowa

Opracowanie samojezdnego laboratorium pomiarowego SPL-CzS200 na bazie lokomotywy elektrycznej

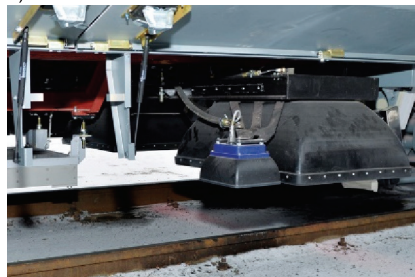
a)



b)



c)



d)



Rys. 10. Spalinowa lokomotywa pomiarowa SMDL-2TE116 [6];
a) widok lokomotywy, b) urządzenia do laserowego monitorowania stanu szyn, c) georadar do monitorowania podtorza, d) urządzenia do monitorowania stanu sieci trakcyjnej

CzS200-08, miało na celu stworzenie odpowiedniego narzędzia pomiarowego do zautomatyzowanego monitorowania stanu torów kolejowych, przy prędkościach roboczych do 200 km/h, ze zwiększonym obciążeniem toru do 19,5 t/oś. W ramach projektu SPL-CzS200 opracowano bezdotykowy system laserowy do pomiaru parametrów geometrycznych toru kolejowego o niewielkich rozmiarach, dzięki czemu instalowanie systemu jest praktycznie możliwe na każdej jednostce mobilnej. Można uzyskiwać wszystkie dane wyjściowe w dowolnym formacie i oceniać je według dowolnych standardów. Jest także możliwa identyfikacja słabych miejsc podtorza. Lokomotywę pomiarową i urządzenie laserowe do badania szyn, przedstawiono na rysunku 11.

Laboratorium diagnostyczne typu SPL-CzS200 obejmuje następujące podsystemy [7]:

- monitorowanie układu geometrycznego toru kolejowego,

- monitorowanie profilu poprzecznego szyn,
- kontrolowanie profilu podłużnego toru,
- monitorowanie wideo stanu ułożenia toru,
- monitorowanie przyspieszeń poziomych i pionowych nadwozia i maźnic,
- monitorowanie resztkowego namagnesowania szyn,
- wiązanie uzyskanych danych w układach współrzędnych geodezyjnych i kolejowych,
- zdalną transmisję danych.

W razie potrzeby, pojazd pomiarowy można wyposażać w dodatkowe systemy, np. do skanowania przestrzennego i monitorowania wideo siatki podkładów kolejowych. Dotykowy panel sterowania sprawia, że obsługa automatycznego systemu pomiaru informacji SPL-CzS200 jest prosta oraz intuicyjna. Zapewnia automatyczne włączanie i wyłączanie całego sprzętu diagnostycznego w ustalonej kolejności, zgodnie z sekwencją rozruchową, a także automatycznie utrzy-

a)



b)



Rys. 11. Elektryczna lokomotywa pomiarowa SPL-CzS200 (a), zminiaturyzowane urządzenie laserowe do pomiaru stanu szyn (b) [7]

muje wymagany reżim temperaturowy sprzętu pomiarowego. Pojazd jest pierwszym laboratorium tego typu, pracującym na liniach kolei 1520 mm. Laboratorium może być eksploatowane o każdej porze roku, w zakresie temperatur otoczenia od -40 do $+55^{\circ}\text{C}$ [8].

5. Nowe kierunki badań diagnostycznych

Nowe rozwiązania diagnozowania infrastruktury kolejowej zmierzają w kierunku stosowania rozwiązań autonomicznych, gdzie bardzo precyzyjne urządzenia pomiarowe nie są obsługiwane przez człowieka. Urządzenia pomiarowe są montowane na eksploatowanych pojazdach, a pomiar odbywa się w trakcie pracy liniowej pociągu. Najważniejsze informacje otrzymane podczas jazdy są automatycznie wysyłane za pośrednictwem kanału radiowego do określonych gniazd analityczno-decyzyjnych, które mogą podejmować szybkie decyzje eliminujące stwierdzone nieprawidłowości, zapobiegając jednocześnie możliwości wystąpienia niepożądanych zdarzeń. Dzięki temu jeszcze bardziej obniżono koszty diagnostyki, gdyż podczas pomiaru pociąg przewozi podróżnych zgodnie z rozkładem jazdy i nie ogranicza zdolności przepustowej linii, na której prowadzone są pomiary [2].

5.1. Pilotażowy projekt Infotrans-Velaro RUS

Projekt Infotrans-Velaro RUS obejmuje integrację systemów pomiarowych z elektrycznym zespołem trakcyjnym (ezt) kolei dużych prędkości Sapsan⁴ i utworzenie opartego na tej podstawie zespołu diagnostycznego. Umożliwia on wykonanie pomiarów i ocenę parametrów infrastruktury kolejowej, które są najbardziej istotne do utrzymania linii w pełnej sprawności technicznej. Umożliwia także jednoczesną analizę wyników pomiarów uzyskanych podczas jazdy eksploatacyjnej i systemów identyfikacji odcinków torów o podwyższonym poziomie dynamiki taboru dużych prędkości, w celu zwiększenia wydajności pracy pociągów kolei dużych prędkości Sapsan (rys. 12).

Pociąg wyposażono w szybkie, kompleksowe systemy diagnostyki układu geometrycznego toru, poprzecznego profilu szyn, krótkich nierówności szyn, podłużnego profilu toru oraz w systemy nadzoru wideo i zdalnej transmisji danych. Precyzyjne urządzenia diagnostyczne

do monitorowania wielu parametrów działają w każdych warunkach pogodowych i klimatycznych przy dużych prędkościach jazdy. Instalację sprzętu diagnostycznego przeprowadzono bez ingerencji w standardowe systemy pociągu z zachowaniem wszystkich miejsc pasażerskich. Wysoka częstotliwość kontroli umożliwia skuteczne monitorowanie i prognozowanie wszelkich działań konserwacyjno-naprawczych. Na uwagę zasługuje fakt, że diagnostyka odbywa się w warunkach rzeczywistej interakcji taboru dużych prędkości z torem i siecią trakcyjną, przy pełnej automatyzacji wszystkich procesów zarządzania urządzeniami diagnostycznymi, wykonywaniu pomiarów, przetwarzaniu wyników pomiarów i ich oceny, bez obecności operatora. W projekcie wykorzystano system pomiaru informacji powstały w Rosji z udziałem firm niemieckich. System diagnostyczny, może pracować bez zakłóceń pomiarów przy prędkościach do 350 km/h.



Rys. 12. Urządzenie laserowe w pociągu Sapsan do pomiaru stanu szyn [5]

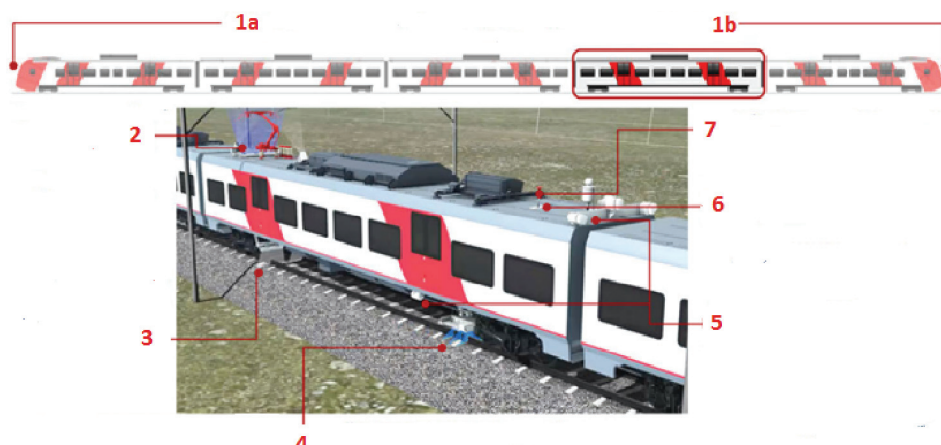
5.2. Pilotażowy projekt Infotrans – Łastoczka

Projekt Infotrans-Łastoczka – to integracja systemów diagnostycznych w elektrycznym pociągu pasażerskim Łastoczka (ES2G)⁵. Wszystkie procesy zarządzania pomiarami, ich prowadzenie, przetwarzanie wyników i ocena diagnostyczna toru są w pełni zautomatyzowane i nie wymagają obecności operatora. Z urządzeniami pomiarowymi jest związany inteligentny system zarządzania danymi w centrach decyzyjnych, wykorzystujący technologię Big Data⁶. Uzyskanie najistotniejszych informacji zachodzi w warunkach rzeczywistej interakcji pociągu elektrycznego z infrastrukturą, której ponad 100 parametrów kontroluje eksploatowany pojazd. Na rysunku 13 pokazano wyposażenie ezt w urządzenia kontrolno-pomiarowe.

⁴ Sapsan – to pociąg kolei dużych prędkości kursujący na trasach: Moskwa – St. Petersburg i Moskwa – Jekaterynburg. Obecnie, w urządzeniu pomiarowe wyposażono dwa pojazdy tego typu.

⁵ Pociąg typu ES2G jest elektrycznym zespołem trakcyjnym, który zgodnie z projektem modernizacji taboru kolei RZD, stopniowo staje się podstawowym rodzajem pociągu wykorzystywanego w Rosji do ruchu regionalnego, tak jak na nowoczesnej linii obwodowej (linia 14) – do ruchu miejskiego w Moskwie.

⁶ Mianem Big Data określa się tendencję do szukania, pobierania, gromadzenia i przetwarzania dostępnych danych. Jest to metoda gromadzenia informacji z różnych źródeł, a następnie ich analizowania i wykorzystywania.



Rys. 13. Wyposażenie ezt ES2G w urządzenia diagnostyczne [10]: 1a i 1b – kontrola wideo obszaru przytorowego (konstrukcji mostów, peronów, ograniczeń skrajniowych, przejazdów itp.), 2 – kontrola sieci trakcyjnej (11 parametrów), 3 – kontrola wideo nawierzchni torowej z automatycznym rozpoznawaniem (13 parametrów), 4 – kontrola układu geometrycznego toru (4 parametry), 5 – system skanowania skrajni budowli, odległości między torami, kształtu warstwy podsypki (14 parametrów), 6 – pozycjonowanie w kolejowych i geodezyjnych współrzędnych (7 parametrów), 7 – nadajnik przekazujący informacje o naruszeniach parametrów wraz z ich wartościami i lokalizacją

6. Inne środki mobilne wykorzystywane do diagnozowania infrastruktury torowej

W celu rozwiązywania problemów monitorowania i obsługi krótkich odcinków torów kolejowych, na początku 2000 roku opanowano w Rosji produkcję całej serii specjalistycznych pojazdów samochodowych, dostosowanych do jazdy po torach kolejowych (wjazd z drogi na tor kolejowy jest możliwy np. na przejazdach kolejowych). Pojazdy wyposażono w różne urządzenia pomiarowe, umożliwiające monitorowanie i diagnostykę torów przy niskich prędkościach. Można je obsługiwać o każdej porze roku i dnia w temperaturach od -40°C do $+50^{\circ}\text{C}$, jak również w czasie opadów deszczu i śniegu. Rozwój tej formy diagnozowania infrastruktury jest systematycznie rozwijany i modyfikowany. Obecnie na kolejach rosyjskich eksploatuje się 30 jednostek diagnostycznych. Przykład takiego pojazdu przedstawiono na rysunku 14.



Rys. 14. Pojazd drogowy wykorzystywany do pomiarów infrastruktury torowej [12]

Wykorzystywanie samochodowych pojazdów diagnostycznych do monitoringu wybranych odcinków linii kolejowych, torów stacyjnych lub bocznich, niesie za sobą różne korzyści:

- ograniczanie zajętości toru do niezbędnego minimum na dojazd do miejsca wykonywanych pomiarów,
- ograniczanie stosowania wagonów pomiarowych, a zwłaszcza zajmowania torów podczas dojazdu do miejsca wykonywania pomiarów,
- przyspieszenie prac względem urządzeń obsługiwanych ręcznie,
- pojazd może być wykorzystywany także, jako środek transportu dla brygad naprawczych lub pomiarowych,
- minimalizacja kosztów operacyjnych.

7. Podsumowanie

Diagnostyka techniczna infrastruktury linii kolejowych jest integralną częścią utrzymania. Jej głównym zadaniem jest zapewnienie bezpieczeństwa, niezawodności funkcjonalnej i wydajności operacyjnej linii kolejowych, a także ograniczenie kosztów związanych z utrzymaniem oraz zmniejszenie strat spowodowanych przestojami w wyniku awarii lub przedwczesnymi naprawami.

W ostatnich latach obserwuje się międzynarodowy trend w stosowaniu mobilnych zespołów diagnostycznych (wagonów, pociągów) z wielofunkcyjnym sprzętem pomiarowym, który zapewnia kontrolę nad wszystkimi parametrami infrastruktury technicznej linii kolejowej. Jak pokazano w niniejszym artykule,

koleje RZD stworzyły skuteczny system do diagnozowania i monitorowania infrastruktury. Obecnie największą uwagę w diagnostyce, poświęca się zagadnieniom torowym, jako najbardziej znaczącym i kapitałochłonnym w zakresie infrastruktury. Jej stan techniczny jest decydującym ogniwem sprawności transportu kolejowego, znacząco wpływa na koszty transportu, prędkość i bezpieczeństwo ruchu pociągów. Obecnie koleje rosyjskie mają w dyspozycji ponad 8000 środków kontroli do diagnozowania torów, z których 427 – to mobilne pojazdy pomiarowe, a 7650 – to urządzenia obsługiwane ręcznie, demonstrowane z toru na czas przejazdu pociągu.

Wraz z rozwojem transportu kolejowego, koleje rosyjskie systematycznie odchodzą od stosowania w diagnostyce urządzeń ręcznych, na rzecz mobilnych (rys. 15). Na uwagę zasługuje nowy kierunek diagnostyki, polegający na odchodzeniu od umieszczania urządzeń pomiarowych w specjalnych pojazdach – laboratoriach. Efektem systematycznych prac z tego zakresu na kolejach Rosji jest wejście na najwyższy poziom diagnostyki, przez umieszczanie przyrządów pomiarowych w nowoczesnych pociągach pasażerskich (Sapsan, Łastoczka), w których pomiary infrastruktury liniowej odbywają się bez udziału obsługi, a uzyskane wyniki są automatycznie przesyłane do centrów analityczno-decyzyjnych. Takie działania są ważnym elementem cyfryzacji kolei, a także utrzymania zakładanych wielkości parametrów, mających wpływ na jakość oferowanych usług.

Przedstawione w artykule informacje o kierunkach rozwoju narzędzi diagnostycznych infrastruktury torowej na kolejach rosyjskich, potwierdzają sformułowania prof. Henryka Bałucha [1] dotyczące obecnej strategii utrzymania dróg kolejowych. Strategia jest obecnie oparta na diagnostyce i prognozowaniu zmian, a nie tak jak przed kilku dekadami na naprawach zapobiegawczych, co wiązało się z potrzebą ponoszenia dużych nakładów na przedwcześnie wykonywane roboty i częste zamknięcia torów. (...) *Obecna strategia wymaga jednak odpowiedniej techniki diagnostycznej, wspieranej przez systemy wspomagania decyzji, dysponowania bazami o stanie dróg kolejowych i historii ich napraw, a przede wszystkim wysokiego poziomu umiejętności zawodowych* (...) [1].

Literatura

1. Bałuch H.: *Zagrożenia w nawierzchni kolejowej*, Instytut Kolejnictwa, Warszawa, 2017.
2. Diagnostyka i monitoring obiektów infrastruktury (Диагностика и мониторинг объектов инфраструктуры), Евразия Вести VII 2015, WWW <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2015-07a04> [dostęp: 19.04.2020].
3. Diagnostyka wysokiej prędkości. Eurasia News. Nr VI/2014, WWW <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2014-06a11> [dostęp: 15.04.2020].
4. Funkcje i pomiary kompleksu diagnostycznego „Sprinter Integral” (film na stronie firmy TWEMA), WWW <https://www.youtube.com/watch?v=bPXtGtsVTN8> [dostęp: 17.04.2020].
5. Informacje dotyczące wyposażenia pociągu dużych szybkości SAPSAN w przyrządy diagnozowania infrastruktury, WWW <http://infotrans-logistic.ru/page.htm?title=ИИС%20«ИНФОТРАНС-БЕЛАО%20Rus»> [dostęp: 23.04.2020].
6. Informacje dotyczące spalinowej lokomotywy pomiarowej SMDL -2TE116 wraz ze zdjęciami, WWW <http://infotrans-logistic.ru/page.htm?title=СМДЛ-2ТЭ116> [dostęp: 23.04.2020].
7. Informacje dotyczące elektrycznej lokomotywy pomiarowej ЧС200-08 (СПЛ-ЧС200) wraz ze zdjęciami, WWW <http://infotrans-logistic.ru/page.htm?title=СПЛ-ЧС200> [dostęp: 23.04.2020].
8. Kompleks diagnostyczny Sprinter Integral, WWW <https://zen.yandex.ru/media/sostavitel/jd-tehnika-sprinter-integral-diagnosticheski-kompleks-5d17f97b8f0b3300ad5ac198> [dostęp: 17.04.2020].
9. Kompleksowa diagnostyka przy modernizacji infrastruktury kolejowej, WWW <https://glavportal.com/materials/kompleksnaya-diagnostika-pri-modernizacii-zheleznodorozhnoj-infrastruktury/> [dostęp: 17.04.2020].
10. Koncepcja rozwoju systemów diagnostycznych i monitorowania obiektów torowych w okresie do 2025 r (Концепции развития систем диагностики и мониторинга объектов путевого хозяйства на период до 2025 года), WWW <http://docs.cntd.ru/document/420365526> [dostęp: 15.04.2020].



Rys. 15. Jeden wagon defektoskopowy eliminuje 40 urządzeń obsługiwanych ręcznie i 200 pracowników niezbędnych do ich obsługi [11]

11. Laboratorium diagnostyczne „SPRINTER”, WWW http://ARTYKU%C5%81Y/Laboratoria%20wagony%20RZD/Диагностический%20вагон%20СПРИНТЕР_2016_2.pdf [dostęp: 23.04.2020].
12. Pojazdy drogowe wykorzystywane do pomiaru infrastruktury torowej. <http://www.gr.tvema.com/632> [dostęp: 23.04.2020].
13. Pojazd samojezdny „SEVER”, WWW https://vk.com/@i_love_trains-avtomotrisa-sever [dostęp: 21.04.2020].
14. Rodzaje laboratoriów, WWW <https://dvizhenie24.ru/railway/kakie-byvayut-laboratorii/> [dostęp: 21.04.2020].
15. Strategia rozwoju transportu kolejowego Federacji Rosyjskiej do 2030 roku. <http://rly.su/ru/content/стратегия-развития-железнодорожного-транспорта-в-российской-федерации-до-2030-года> [dostęp: 15.04.2020].
16. Tarabin. V.F.: *Kompleksowa diagnostyka dla modernizacji infrastruktury kolejowej*, WWW <https://glavportal.com/materials/kompleksnaya-diagnostika-pri-modernizacii-zheleznodorozhnoj-infrastruktury/> [dostęp: 14.04.2020].
17. Wagon defektoskopowy WD-UMT-2, WWW <https://tvema.all.biz/vagony-defektoskopy-vd-umt-2-g8565618> [dostęp: 20.04.2020].
18. Wagony pomiarowe i ich wyposażenie, WWW <http://www.gr.tvema.com/638>. Dostęp: 20.04.2020.
19. Wagon pomiarowy, WWW http://www.infrastruktury.eav.ru/publimg.php?imgname=2017-08_102 [dostęp: 20.04.2020].
20. Wagon pomiarowy CNII-2, WWW <http://scaletrainsclub.com/board/download/file.php?id=168550&mode=view> [dostęp: 17.04.2020].
21. Wagon pomiarowy CNII-4, WWW http://www.eav.ru/publimg.php?imgname=2012-08_048_ [dostęp: 17.04.2020].
22. Zintegrowana technologia szybkiej diagnostyki infrastruktury – imperatyw czasu. Eurasia News XII 2017, WWW <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2017-12a10> [dostęp: 15.04.2020].