

Aleksandr Ivanovich Ivakhin, Dmitrij Viktorovich Kotiaev, Marek Babel

Wykorzystanie prądu elektrycznego w układach lokomotyw spalinowych z przekładnią elektryczną do zwiększenia przyczepności kół pojazdu z szyną

Podstawowym czynnikiem, który ogranicza maksymalną siłę pociągową na obwodzie kół napędnych oraz największą wartość siły hamowania jest przyczepność występująca w styku koła lokomotywy z szyną. W artykule przeanalizowano możliwe sposoby zwiększenia współczynnika przyczepności oraz zaprezentowano autorskie rozwiązanie dla lokomotyw spalinowych wykorzystujące przepływ prądu elektrycznego z prądnicy przez strefę styku koła z szyną. Przedstawiono wyniki badań teoretycznych, w tym schematy elektryczne układu, laboratoryjnych na stanowisku badawczym oraz otrzymane z badań eksploatacyjnych układu w lokomotywie spalinowej. Wyniki badań wykazały zwiększenie współczynnika przyczepności przy oddziaływaniu prądem elektrycznym na powierzchnię styku koła z szyną.

Słowa kluczowe: lokomotywa spalinowa, przekładnia elektryczna, przyczepność koło-szyna, prąd elektryczny, siła pociągowa.

Głównym przeznaczeniem lokomotywy jest zapewnienie niezbędnych charakterystyk trakcyjnych i hamowania, określających jej efektywność i bezpieczeństwo w eksploatacji. Podstawowym czynnikiem, który ogranicza maksymalną siłę pociągową na obwodzie kół napędnych oraz największą wartość siły hamowania jest przyczepność występująca w styku koła lokomotywy z szyną. W związku z ciągle rosnącymi wymaganiami w zakresie zwiększenia masy i prędkości pociągów pojawia się konieczność rozwiązania zagadnień ukierunkowanych na zwiększenie współczynnika przyczepności ψ , obejmujących opracowanie odpowiednich sposobów i urządzeń oraz przeprowadzenie badań teoretycznych i eksperymentalnych [1, 2].

Mechanizm powstawania przyczepności koła z szyną

W procesie powstawania siły przyczepności występują złożone procesy molekularne i mechaniczne. W związku z tym powstały różne teorie i hipotezy o mechanice wzajemnego oddziaływania koła i szyny. Duże pionowe naciski kół na szyny powodują powstanie zjawiska adhezji, określającego szepianie się (przyczepność) powierzchni ciał. Aktualnie adhezja tłumaczona jest występowaniem sił molekularnego oddziaływania stykających się ciał, procesem ich adsorpcji, istnieją w tym zakresie teorie chemiczna, dyfuzji i elektryczna [3].

Z drugiej strony istota przyczepności tłumaczona jest w oparciu o zasady teorii sprężystości [4]. W tym przypadku siła przyczepności jest wynikiem toczenia się koła z jego mikroślizgiem względem szyny [5]. Wielkość tej siły określana jest wymiarami i obszarem faktycznej powierzchni styku, wartością nacisku normalnego i fizyko-chemicznymi własnościami materiału obręczy i szyny [6].

Przyczepność w punkcie styku koła lokomotywy z szyną zależy w sposób istotny od zmiany własności mechanicznych w war-

stwie polidispersyjnej zabrudzenia powierzchniowego, wypełniającego praktycznie całą nominalną powierzchnię styku między kołem i szyną. Warstwę tą tworzą przede wszystkim materiały smarne przedostające się z zewnątrz w warunkach realnej eksploatacji, woda, cząsteczki zużycia trących się ciał, piasek, pył i inne [4], co pozwala zakwalifikować wymienione zabrudzenia do czynników zewnętrznych. Analizowana warstwa wchodzi w skład tzw. trzeciego ciała, poprzez które przekazywane są wszystkie siły normalne i na obwodzie kół napędnych w procesie toczenia się koła po szynie. W ten sposób, medium pośrednie (warstwa powierzchniowego zabrudzenia) uczestniczy w powstawaniu procesów tarciovych w strefie styku koła z szyną i bezpośrednio wpływa na ich szepianie. W tym przypadku zwiększenie siły pociągowej lokomotywy wymaga zwiększenia współczynnika przyczepności w wyniku oddziaływania - różnymi sposobami, na analizowaną warstwę powierzchniową. Wśród tych sposobów można wymienić termomechaniczne oczyszczanie powierzchni toczonej, mechaniczne i chemiczne czyszczenie szyn, elektroiskrowe i laserowe czyszczenie stykających się powierzchni i inne. Wszystkie te sposoby posiadają określone wady, które ograniczają ich szerokie zastosowanie w pojazdach trakcyjnych.

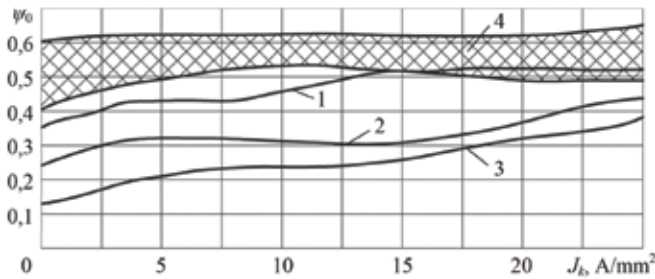
Zwiększenie współczynnika przyczepności jest możliwe dzięki zastosowaniu piasecznic i podawaniu pod ciśnieniem piasku pod koła napędne. W eksploatacji pojazdów trakcyjnych na liniach kolejowych stosowany jest suchy piasek kwarcowy, który charakteryzuje się dużą twardością i wytrzymałością na ścinanie. Współczynnik przyczepności w tym przypadku może zostać zwiększony do 0,5...0,7 [7].

Jednakże zastosowanie piasku, niezależnie od dodatniego efektu w postaci zwiększenia przyczepności kół z szyną, posiada określone wady [4]:

- ❖ pozostający na szynach piasek powoduje powstanie dodatkowego oporu ruchu pociągu w granicach 12 %;
- ❖ piasek, podawany z piasecznicy lokomotywy, zanieczyszcza torowisko, pogarsza stan linii kolejowej i tym samym prowadzi do znacznego wzrostu kosztów jej utrzymania;
- ❖ piasek, podawany na trące się elementy linii kolejowej i pojazdu, prowadzi do bardziej intensywnego ich zużycia ściernego.

Analiza zmian przyczepności w wyniku energetycznego oddziaływania na punkt styku koła z szyną

Istnieją sposoby zwiększenia współczynnika przyczepności ψ , związane z energetycznym oddziaływaniem zewnętrznym na strefę styku kół z szynami. Do takich oddziaływań zaliczyć można wytworzenie w ww. strefach styku silnego pola magnetycznego oraz przepływ przez nie prądu elektrycznego. W pierwszym przypadku osiągnięcie dodatnich wyników związane jest obecnie z dużym zużyciem miedzi i koniecznością spełnienia określonych



Rys. 1. Zależność fizycznego współczynnika przyczepności koła z szyną od gęstości prądu przepływającego przez kontakt [9], gdzie: 1 - dla suchego, odtłuszczonego kontaktu; 2 - przy obecności w kontakcie wody; 3 - przy obecności w kontakcie cienkiej warstwy smaru; 4 - przy obecności w kontakcie piasku

wymagań odnośnie konstrukcji i wymiarów gabarytowych opracowanych urządzeń [8].

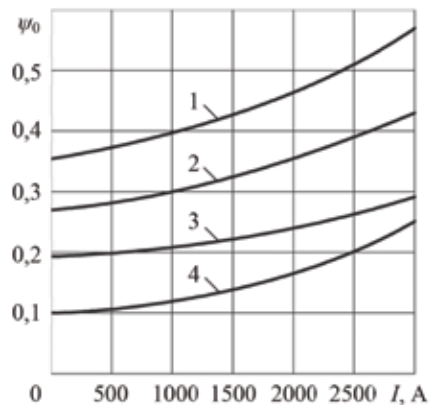
Wpływ prądu elektrycznego, przepływającego przez styki (kontakty) kół z szynami, na współczynnik przyczepności ψ został stwierdzony w elektrowozach, gdzie do ich obwodów głównych podłączono ww. kontakty. I tak, w trakcie badań elektrowozów prądu stałego VL22M i VL23 współczynnik przyczepności zmieniał się od 0,2 podczas pracy silników trakcyjnych z natężeniem prądu od 150 A do 0,49 dla prądu 500 A [9]. Stwierdzone w elektrowozach wyższe wartości ψ w porównaniu z lokomotywami spalinowymi były przyczyną przeprowadzenia badań eksperymentalnych wpływu prądu elektrycznego na fizyczny współczynnik przyczepności [7]. Warunki przeprowadzania eksperymentów na stanowisku laboratoryjnym pozwoliły zapewnić gęstość prądu przemiennego w kontakcie na poziomie nie mniejszym niż 20 A/mm², co odpowiada współczesnym elektrowozom. Badania wykazały zwiększenie współczynnika przyczepności przy oddziaływaniu prądem przemiennym na powierzchnię styku koła z szyną dla różnych warunków stykających się powierzchni (rys. 1). I tak, dla suchego, odtłuszczonego kontaktu wartość współczynnika przyczepności zwiększyła się od 0,36 w przypadku braku przepływu prądu do 0,53 przy gęstości prądu w kontakcie 25 A/mm²; w przypadku wilgotnych powierzchni roboczych koła i szyny - od 0,25 do 0,44, a przy obecności w strefie kontaktu smaru - od 0,13 do 0,38.

Wpływ prądu elektrycznego na charakterystyki ciernie pary tarcia „metal - metal”, przez którą przepływa prąd elektryczny, związany jest możliwym występowaniem efektu tunelowego, mechanizmami, bazującymi na zasadzie emisji autoelektronowej, efektu elektroplastycznego i innymi. W ostatnim przypadku zmiana własności ciernych ww. pary tarcia przy przepływie przez nią prądu elektrycznego uwarunkowana jest oddziaływaniem elektronów na poruszające się dyslokacje, które wychodzą na powierzchnię, mogą zmieniać siły tarcia zewnętrznego [10]. Jednakże, pomimo licznych badań, brak jest obecnie jedynej teorii o mechanice analizowanego procesu.

Pozytywny wpływ prądu elektrycznego na współczynnik przyczepności wykorzystano w sposobie poprawy właściwości trakcyjnych lokomotyw spalinowych z przekładnią elektryczną [11], opartym na podawaniu prądu z prądnicy głównej do strefy styków (kontaktów) kół napędnych z szynami.

Wpływ prądu elektrycznego przepływającego przez punkt styku koła z szyną na przyczepność w lokomotywach spalinowych

Współczesne liniowe lokomotywy spalinowe wyposażone są w prądnice główne (PG) o dużej mocy, prądy ciągłe których osią-



Rys. 2. Zależności obliczeniowe granicznego współczynnika przyczepności od natężenia prądu stałego w kontakcie przy pionowym nacisku na koło 115 kN, gdzie: 1 - dla suchego, czystego kontaktu; 2 - przy obecności w kontakcie wody; 3 - przy obecności w kontakcie wody z dodatkiem oleju maszynowego; 4 - przy obecności w kontakcie oleju maszynowego

gają 4000...5000 A, a chwilowe do 6000...7500 A. Przy ruszaniu z miejsca i przyspieszaniu lokomotyw spalinowych do prędkości 10...20 km/h prądy prądnicy głównej osiągają średnio 6000 A, co pozwala wytworzyć wymagane obciążenie prądowe (średnio do 3000 A) i w następstwie, wysoką gęstość prądu elektrycznego w kontakcie koła z szyną.

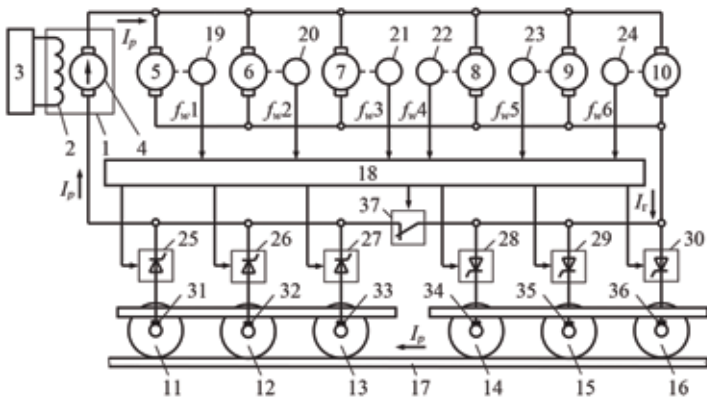
Badania, przeprowadzone na stanowisku eksperymentalnym [12], pozwoliły otrzymać modele regresyjne zwiększenia granicznego współczynnika przyczepności ψ_0 przy przepływie przez strefę kontaktu koła z szyną prądów różnego rodzaju. Zależności graficzne $\psi_0 = f(I)$, opracowane na podstawie modeli dla prądu stałego, odzwierciedlają zwiększenie granicznego współczynnika przyczepności w różnych warunkach - w zależności od stopnia zabrudzenia, kontaktu koła z szyną (rys. 2).

W przypadku występowania w kontakcie grubej warstwy oleju maszynowego i zwiększeniu natężenia prądu do 3000 A współczynnik ψ_0 wzrasta od 0,1 do 0,25. Przy nawilżeniu powierzchni roboczych koła i szyny wodą z dodatkiem oleju maszynowego średnie zwiększenie współczynnika przyczepności wynosi w granicach od 0,19 do 0,29. Przy obecności wody w kontakcie zwiększenie ψ_0 znajdowało się w granicach 0,28...0,43. Największe wartości granicznego współczynnika przyczepności osiągnięto dla suchego kontaktu koła z szyną, których powierzchnie robocze zostały oczyszczone z zabrudzeń, poddane operacji szlifowania i odtłuszczone. W tym przypadku zwiększenie natężenia prądu elektrycznego spowodowało wzrost współczynnika przyczepności od 0,36 do 0,57.

Przy podaniu do strefy kontaktu koła z szyną prądu przemiennego i wyprostowanego dwupołkowego wartości ψ_0 nie odbiegały znacząco od zależności, przedstawionych na rys. 2 [12].

Współczesne lokomotywy posiadają zazwyczaj cztery, sześć lub osiem zestawów kołowych napędnych w sekcji. W celu podania na zestawy prądu o wymaganej wartości opracowano zasady działania układu zwiększania przyczepności ze sterowanymi z prądnicy głównej impulsami prądu do kontaktów kół z szynami [13].

Przy normalnych warunkach eksploatacji lokomotywa spalinowa pracuje wg typowego schematu przekładni elektrycznej (rys. 3). Prądnica główna (PG) 1 napędzana jest silnikiem spalinowym. Do niezależnego uzwojenia wzbudzenia 2 prądnicy podłączony jest układ wzbudzenia 3, który zapewnia kształtowanie



Rys. 3. Schemat przekładni elektrycznej lokomotywy spalinowej z blokiem sterowania impulsami prądowymi z prądnicy głównej do strefy kontaktu kół z szynami

charakterystyki zewnętrznej prądnicy głównej. Z wirnika 4 prądnicy głównej zasilane są silniki trakcyjne 5, 6, 7, 8, 9, 10, w wyniku czego wytwarzany jest moment obrotowy silników trakcyjnych, który przekazywany jest dalej poprzez przekładnię mechaniczną do zestawów kołowych 11, 12, 13, 14, 15, 16. Zestawy kołowe, znajdujące się na szynach 17, tworzą z nimi pary tarcia, w wyniku czego powstaje siła pociągowa na obwodzie kół napędnych lokomotywy F_k .

Zawilgocenie szyn, przedostawanie się oleju na koła i szyny oraz inne czynniki prowadzą do zmniejszenia współczynnika przyczepności, może nastąpić zerwanie kontaktu koła z szyną i poślizg zestawu kołowego oraz zmniejszenie siły pociągowej na obwodzie kół napędnych F_k . W tym przypadku na lokomotywach spalinowych z przekładnią elektryczną poślizg występuje głównie na przednich zestawach kołowych każdego wózka na skutek ich odciążenia w reżimie pracy pociągowej lokomotywy [14]. Takimi zestawami kołowymi są zestawy 11, 14 podczas jazdy lokomotywy w jednym kierunku i 13, 16 podczas jazdy w drugim kierunku.

W bloku sterowania 18 obliczane są różniczki sygnałów prędkości obrotowych wirników silników trakcyjnych $f_{w1}, f_{w2}, f_{w3}, f_{w4}, f_{w5}$ i f_{w6} , przesyłanych na jego wejścia z czujników obrotów 19, 20, 21, 22, 23, 24 sprzężonych z silnikami trakcyjnymi 5, 6, 7, 8, 9, 10. Wynikiem różniczkowania jest przyspieszenie kątowe ε_w wirnika każdego silnika trakcyjnego. W przypadku określenia dla dwóch silników 5, 8 lub 7, 10, sprzężonych mechanicznie z zestawami kołowymi 11, 14 lub 13, 16, chociażby jednej wartości ε_w , która w przeliczeniu odpowiada wielkości przyspieszenia stycznego zestawu kołowego w $\geq 0,5 \text{ m/s}^2$ [13], blok sterowania 18 wykrywa powstanie poślizgu odpowiedniego zestawu kołowego. Sterownik podaje sygnały na urządzenia przełączające 25, 28 lub 27, 30, które podłączają do uzwojenia wirnika prądnicy 4 zestawy kołowe 11, 14 podczas jazdy lokomotywy w jednym kierunku i 13, 16 podczas jazdy w drugim kierunku przez kontakty ślizgowe 31, 34 lub 33, 36. Następnie blok sterowania 18 przesyła sygnał na urządzenie przełączające 37, które rozłącza bezpośrednie połączenie elektryczne silników trakcyjnych z wirnikiem prądnicy głównej. W wyniku tego tworzy się obwód dla przepływu prądu prądnicy głównej I_p , tylko przez zestawy kołowe i szyny 17 szeregowo z silnikami trakcyjnymi. Prowadzi to do znacznego wzrostu współczynnika przyczepności ψ kół z szynami i likwidacji poślizgu przy przyspieszeniach ε_w , odpowiadających przyspieszeniom stycznym w $< 0,45 \text{ m/s}^2$ [13]. Przepływ prądu

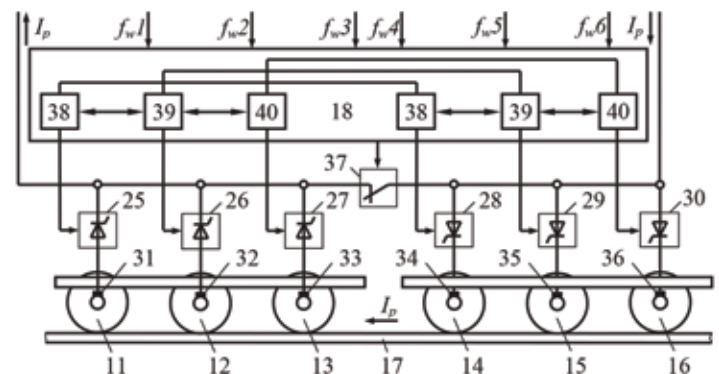
do strefy kontaktu kół z szynami może być realizowany impulsami z ciągłą kontrolą momentów rozpoczęcia i zakończenia poślizgu zestawów kołowych lub w sposób ciągły do wyprowadzenia lokomotywy ze strefy możliwego poślizgu.

Jeżeli po rozpoczęciu poślizgu przednich zestawów kołowych, np. 11 i 14 w poślizg przechodzi chociażby jeden ze środkowych zestawów kołowych 12 i 15, poddanych także określonemu odciążeniu [14], to blok sterowania 18 wykrywa poślizg na podstawie sygnałów f_{w2} i f_{w5} z wyjść czujników prędkości 20 i 23. W wyniku tego urządzenia przełączające 26, 29 podłączają obwody zestawów kołowych 12, 15 do wirnika prądnicy 3 poprzez kontakty ślizgowe 32 i 35, a zestawy kołowe 11, 14 zostają odłączone od niego przez urządzenia przełączające 25, 28. W ten sposób powstają po kolei szeregowe połączenia zestawów kołowych znajdujących się w poślizgu, po dwa, i podawane są impulsy prądu z prądnicy głównej do każdego połączenia. Za każdym razem przy przejściu impulsu prądowego po zestawach kołowych i szynach następuje zwiększenie ich współczynnika ψ i największej siły pociągowej na obwodzie kół napędnych, co prowadzi do zaprzestania poślizgu. W trakcie przerw następuje ponowne zerwanie przyczepności zestawów kołowych. W procesie pracy blok 18 rejestruje w sposób ciągły początek i koniec poślizgu zestawów kołowych i nieprzerwanie porównuje odpowiednie czasy, co uwarunkowane jest specjalnie opracowanym algorytmem sterowania urządzeniami przełączającymi. Jeżeli przednimi - w kierunku jazdy lokomotywy, są zestawy kołowe 13 i 16, to w pracy układu analogicznie uczestniczą urządzenia przełączające 26, 27, 29, 30.

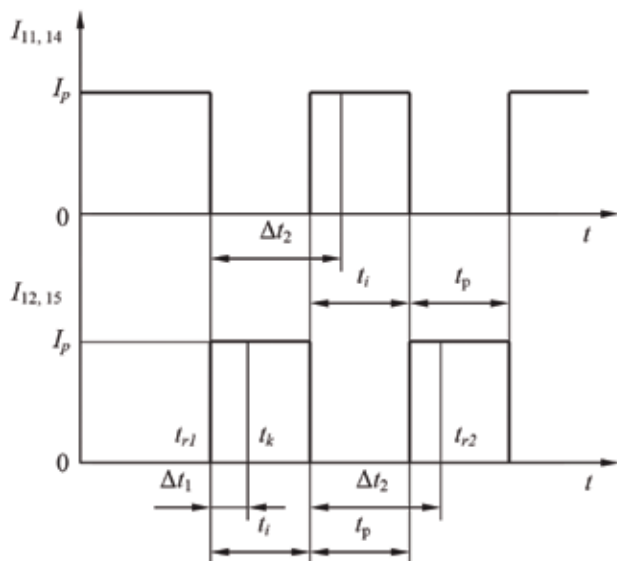
Przy rejestracji sygnałów f_w z czujników prędkości, które określają w przeliczeniu prędkość jazdy lokomotywy $V > 15 \text{ km/h}$, gwarantującą wyjście ze strefy poślizgu, i zmianie przyspieszeń ε_w , odpowiadających w $< 0,45 \text{ m/s}^2$, blok sterowania przełącza schemat przekładni elektrycznej do stanu wyjściowego przez odłączenie urządzeń przełączających 37, 25, 26, 27, 28, 29 i 30.

Funkcje bloku 18 można ograniczyć przez kształtowanie stałych impulsów prądowych, podawanych po kolei na połączenia zestawów kołowych, dzięki czemu można znacznie uprościć algorytm sterowania. Przy tym czas trwania impulsów powinien być większy od maksymalnego możliwego czasu wyjścia zestawów kołowych z poślizgu, a czas trwania przerw - nie osiąga minimalnego możliwego czasu przejścia w poślizg.

W takim układzie (rys. 4) blok sterowania analogicznie wykrywa jednocześnie poślizgi na więcej niż dwóch zestawach kołowych. Jeżeli przednimi są zestawy kołowe 11, 14, to urucha-



Rys. 4. Schemat przesyłania stałych impulsów prądu generatora do strefy kontaktu kół z szynami



Rys. 5. Wykres prądów zestawów kołowych

miana jest zsynchronizowana praca generatorów impulsów 38 i 39, wchodzących w skład bloku 18 i sterujących włączeniem i wyłączeniem urządzeń przełączających 25, 26, 28, 29.

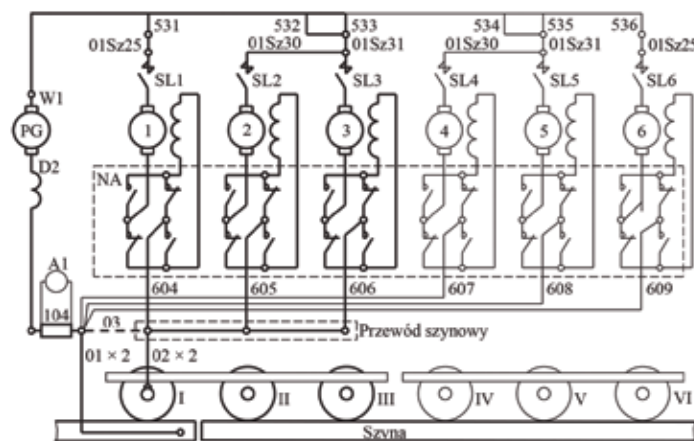
W momencie t_{r1} (rys. 5) rozpoczęcia poślizgu zestawów kołowych 12 i 15 generator impulsów 38 odłącza urządzenia przełączające 25 i 28, a generator 39 jednocześnie włącza urządzenia 26 i 29. Dzięki temu przez kontakty 32, 35 utworzone zostaje połączenie szeregowe zestawów kołowych 12, 15, przez które przepływa prąd prądnicy głównej $I_{12,15} = I_p$.

Następnie generatory generują sygnały sterowania odpowiednimi urządzeniami przełączającymi, zapewniając kształtowanie stałych impulsów prądu $I_{11,14}$ i $I_{12,15}$, przesyłanych po kolei do połączeń zestawów kołowych 11, 14 i 12, 15 zwiększając tym samym ich współczynnik ψ .

Czas trwania impulsów prądu t_i jest stały, ustawiany z góry i większy od maksymalnego możliwego czasu wyjścia zestawów kołowych z poślizgu Δt_1 , określonego dla danego prądu przy najbardziej niekorzystnych warunkach w kontaktach kół z szynami. W ten sposób zagwarantowana jest likwidacja poślizgu zestawu kołowego w momencie t_k bez rejestracji przez blok 18 przyspieszenia w $< 0,45 \text{ m/s}^2$. Czas trwania przerwy t_p również jest wartością stałą i w tym przypadku nie osiąga minimalnego możliwego czasu przejścia zestawów kołowych w poślizg Δt_2 . Następny impuls prądu przesyłany jest na zestaw kołowy do momentu t_{r2} rozpoczęcia prawdopodobnego poślizgu i zapobiega jego powstaniu. W tym przypadku również odpada konieczność pomiaru przyspieszenia w $\geq 0,5 \text{ m/s}^2$ w celu wykrycia powstania poślizgu.

Jeżeli przednimi, w kierunku jazdy lokomotywy, są zestawy kołowe 13 i 16, to analogiczny algorytm sterowania urządzeniami przełączającymi 26, 27, 29, 30 zapewniają generatory sygnałów 39, 40. Stałe impulsy prądu z prądnicy głównej przesyłane są po kolei do połączeń zestawów kołowych 12, 15 i 13, 16.

Wstępne sprawdzenie efektywności pracy analizowanych powyżej układów zostało zrealizowane na jednej sekcji lokomotywy spalinowej towarowej 2TE10U, wyposażonej w prototypowy układ zwiększenia przyczepności w punkcie styku koła z szyną [15]. W tym celu w szafie elektrycznej sekcji lokomotywy zamontowano przewód szynowy, do którego zostały podłączone przewody 604, 605 i 606 (rys. 6), odłączone od bocznika 104. Oprócz



Rys. 6. Schemat elektryczny obwodów głównych lokomotywy spalinowej 2TE10U z elementami układu zwiększania przyczepności

tego, podłączono do niego dwa wcześniej przygotowane przewody 02, a do bocznika 104 podłączono dwa przewody 01. Drugie końce przewodów 02 podłączono do kadłuba silnika trakcyjnego pierwszego zestawu kołowego. Szyny linii kolejowej zostały oddzielone między sobą izolatorami, a do szyn, znajdujących się pod zestawem kołowym I, podłączono przewody siłowe 01. Taki schemat połączeń elektrycznych zapewnia przepływ całkowitego prądu z prądnicy głównej w obwodzie: PG - silniki trakcyjne wózka przedniego - kontakty pierwszego zestawu kołowego - szyny. Wg powyższego schematu pracuje układ zwiększania współczynnika (siły) przyczepności lokomotywy. Oprócz tego, do bocznika 104 podłączono przewód 03 zapewniający bezpośrednie połączenie prądnicy głównej z silnikami trakcyjnymi oraz realizację typowego układu pracy przekładni lokomotywy.

W celu przeprowadzenia badań eksperymentalnych lokomotywy w stanie zahamowanej druga jej sekcja była wykorzystywana w charakterze jednostki hamującej. W tej sekcji uruchamiano układ hamowania pneumatycznego, a pod koła wstawiono płyty hamujące. W procesie badań prąd w kontakcie kół z szynami zmieniany był w sposób dyskretny zgodnie z kolejnością podłączania do obwodu elektrycznego zestawu kołowego I silników trakcyjnych wózka przedniego i wyborem pozycji nastawnika jazdy. W wyniku przeprowadzonych badań eksperymentalnych stwierdzono wzrost siły pociągowej na obwodzie kół napędnych lokomotywy i jej współczynnika przyczepności.

I tak, w przypadku podłączenia do pierwszego zestawu kołowego wszystkich silników trakcyjnych wózka przedniego prąd, przepływający przez strefy kontaktu kół z szynami, wynosił 1020 A. W przypadku braku widocznych zabrudzeń w stykających się powierzchniach największa siła pociągowa na obwodzie kół napędnych i graniczny współczynnik przyczepności zwiększył się o 10...15 %, a przy zabrudzeniu szyn olejem maszynowym o 25...30 % w porównaniu z pracą lokomotywy wg typowego schematu przekładni elektrycznej. Porównanie wyników badań eksperymentalnych lokomotywy spalinowej 2TE10U i danych obliczonych zależności granicznego współczynnika przyczepności (rys. 2), wykazało dostateczną ich zbieżność.

Podsumowanie

Uzyskane na eksperymentalnych stanowiskach laboratoryjnych wartości granicznego współczynnika przyczepności przy przepływie prądu elektrycznego przez kontakt koła z szyną (rys. 1 i 2)

odpowiadają wynikom badań prototypowego układu zwiększenia przyczepności lokomotywy spalinowej w warunkach eksploatacji na liniach kolejowych i są porównywalne z wartościami współczynnika ψ_0 w przypadku podawania do strefy kontaktu piasku kwarcowego. Powyższy fakt pozwala rozpatrywać sposób zwiększenia współczynnika przyczepności z wykorzystaniem przepływu prądu przez styk koła z szyną jako możliwą alternatywę do sposobu z wykorzystaniem piasku. Aktualnie realizowany jest drugi etap badań eksperymentalnych w ramach tzw. eksploatacji obserwowanej lokomotywy serii 2TE10U.

Dotychczasowe pozytywne wyniki badań eksperymentalnych pozwoliły rozpocząć prace w zakresie opracowania produkcyjnej wersji komponentów układu zwiększenia przyczepności i wdrożenia ich w produkowanych i eksploatowanych lokomotywach spalinowych.

Zaproponowane układy zwiększenia współczynnika przyczepności powinny zostać wdrożone we wszystkich krajowych seriach lokomotyw spalinowych eksploatowanych na PLK i w zakładach przemysłowych. W pierwszej kolejności, ze względu na zakładaną znaczną poprawę właściwości trakcyjnych, opisane układy powinny zostać wdrażane w zmodernizowanych lokomotywach spalinowych serii ST44 i SM48 (15D,16D), eksploatowanych w ruchu towarowym.

Bibliografia:

1. Samme, G.V. Friksionnoye vzaimodeystviye kolesnykh par lokomotiva s relsami: Monografiya. – M. Marshrut, 2005. – 80 S.
2. Kałuża E. Analiza czynników ograniczających parametry trakcyjne lokomotyw elektrycznych o układzie osi CoCo, zasilanych z sieci 3kV DC. Technika Transportu Szynowego. 2009, nr. 10. S. 68 – 72.
3. Deryagin, B.V. Adgeziya tverdykh tel / B.V. Deryagin, N.A. Krotova, V.P. Smilga. – M.: Nauka, 1973. – 279 s.
4. Luzhnov, YU.M. Nanotribologiya stsepleniya koles s relsami. – M.: Intekst, 2009. – 176 s.
5. Minov, D. K. Povysheniye tyagovykh svoystv elektrovozov i teplovozov s elektricheskoy peredachey. – M.: Transport, 1965. – 268 s.
6. Sakalo, V.I. Kontaktnye zadachi zheleznodorozhnogo transporta / V.I. Sakalo, V.S. Kossov. – M.: Mashinostroyeniye, 2004. – 496 s.
7. Tkachenko, V.P. Kinematicheskoye soprotivlenie dvizheniu relsovykh ekipazhey: Monografiya. – Lugansk: Izd-vo VUGU, 1996. – 200 s.
8. Korchagin, V.O. Uluchsheniye tyagovykh kachestv teplovozov vozdeystviem postoyannogo magnitnogo polia na kontakt tribosistemy koleso – rels // Diss. na soisk. uch. st. kand. tekhn. nauk. – M.: Rossiyskiy universitet transporta (MIIT), 2017. – 145 s.
9. Luzhnov, YU.M. Stseplenie koles s relsami (priroda i zakonomernosti) // Trudy VNIIZHT. – M.: Intekst, 2003. – 144 s.
10. Troitskiy, O.A. Elektroplasticheskiy effekt v metallakh / O.A. Troitskiy, A.G. Rozno // FTT, 1970. – T. 12. – Vyp. 1. – S. 203-210.
11. Ivakhin, A.I. Elektricheskaya peredacha teplovoza: pat. № 2314948 RF / A.I. Ivakhin, V.S. Kossov, YU.V. Babkov, G.M. Volokhov. – Opubl. 20.01.08, Byul. № 2.
12. Ivakhin, A.I. Eksperimentalnye issledovaniya vliyaniya elektricheskogo toka na stseplnyye kachestva lokomotivov / A.I. Ivakhin, D.I. Petrakov // Tyazheloye mashinostroyeniye. – 2013. – № 1. – S. 27-34.
13. Ivakhin, A.I. Elektricheskaya peredacha teplovoza: pat. № 2467899 RF / A.I. Ivakhin, M.V. Yatskov. – Opubl. 27.11.12, Byul. № 33.
14. Mikhalchenko, G.S. Teoriya i konstruktsiya lokomotivov: uchebnik dlia Vuzov zh.-d. transp. / G.S. Mikhalchenko i [dr.]; pod red. G.S. Mikhalchenko. – M.: Marshrut, 2006. – 584 s.
15. Ivakhin, A.I. Ispytaniya gruzovogo teplovoza s maketnoy sistemoy po-vysheniya tyagovykh kachestv / A.I. Ivakhin, V.I. Travinichev, D.I. Petrakov // Tyazheloye mashinostroyeniye. – 2014. – № 6. – S. 17-21.

Autorzy:

dr inż. **Aleksandr Ivanovich Ivakhin** - docent Katedry Pojazdy Szynowe, Briański Państwowy Uniwersytet Techniczny

Dmitrij Viktorovich Kotiaev - zastępca głównego inżyniera, Instytut Naukowo-Badawczy i Konstrukcyjno-Technologiczny Pojazdów Szynowych, Kołomna

dr hab. inż. **Marek Babel** - pracownik naukowo-badawczy, specjalność Transport Szynowy

The use of electric current in diesel locomotive systems with electric transmission for increase the adhesion of the vehicle wheels - rail

The basic factor that limits the maximum tangential tractive effort and the greatest value of braking force is the adhesion occurring in the contact of the locomotive wheel - rail. The article analyzes possible ways to increase the coefficient of adhesion and presents a proprietary solution for diesel locomotives using the flow of electric current from a generator through the wheel-rail contact zone. The results of theoretical tests, including electrical diagrams of the system, laboratory tests on the test stand and obtained from operational tests of the system in the diesel locomotive are presented. The test results showed an increase in the coefficient of adhesion when electric current flows through the contact surface of the wheel - rail.

Keywords: diesel locomotive, electric transmission, wheel - rail adhesion, electric current, tractive effort.