ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria: TRANSPORT z. 14 Nr kol. 1048

Marek SITARZ

Instytut Mechaniki i Podstaw
Konstrukcji Maszyn
Politechniki Śląskiej
w Gliwicach

PRZEGLĄD BADAŃ I MODELOWANIA ELEMENTÓW PARY KOŁO-SZYNA

Streszczenie. Praca stanowi przegląd stosowanych w świecie badań kolejowych zestawów kołowych. W szczególności omówiono badania eksploatacyjne i stanowiskowe, w których szynę zastąpiono kołem tocznym. Badania dynamiczne tego systemu należą do podstawowych badań przy opracowaniu nowych konstrukcji i ich modernizacji. W wprowadzeniu do artykułu podano ogólne zasady badania i modelowania elementów pary koło-szyna, a na przykładowym schemacie pokazano zależność pomiędzy teoretycznymi i eksperymentalnymi badaniami. Następnie opisano wybrane charakterystyczne badania i stanowiska dotyczące współpracy elementów pary koło-szyna. Opisano badania kół i szyn w rzeczywistych warunkach, stanowiskowe oraz modeli matematycznych.

Przedstawione w artykule rozważania wskazują, że badania elementów pracy systemu koło-szyna zależą od wielu czynników, z których do głównych należą: zakres badań, możliwości organizacyjne i finansowe, czas oraz wymagana dokładność parametrów badanych zjawisk.

1. WPROWADZENIE

Na dynamikę pojazdów szynowych w znacznym stopniu mają wpływ warunki współpracy koła z szyną. Dlatego badania dynamiczne tego systemu należą do jednych z podstawowych badań zarówno przy opracowaniu nowych konstrukcji jak i w przypadku ich modernizacji oraz w czasie eksploatacji.

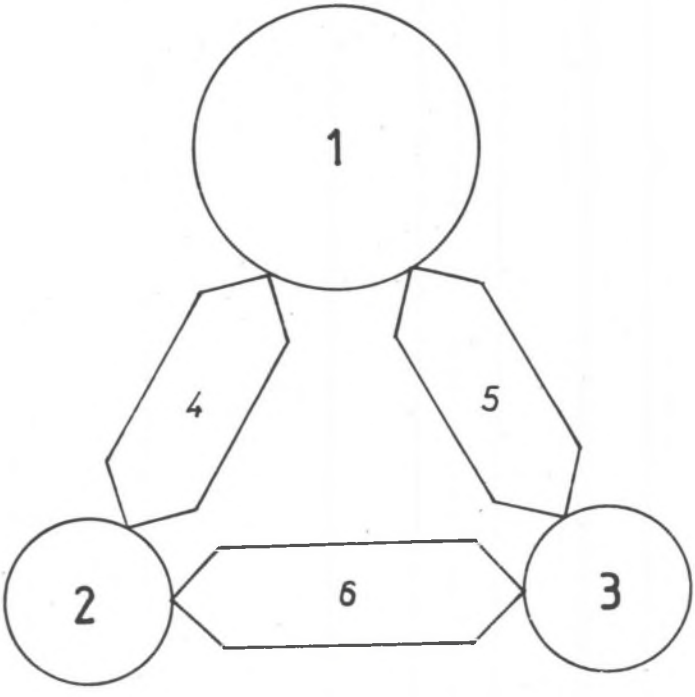
Już od wielu lat zarządy kolejowe dysponują zespołami, bądź ośrodkami badawczymi, wyposażonymi w duże laboratoria stacjonarne. Można wspomnieć, że takie laboratoria w początkach bieżącego stulecia powstały w USA (Altonna, Illionois), w Rosji (Petersburg) i w Wielkiej Brytanii (Swindon) [1]. W latach trzydziestych uruchomiono nowe ośrodki we Francji (Vitry), w Niemczech (Grünewald), a także w Wielkiej Brytanii (Rugby). Lata pięćdziesiąte przyniosły bardzo intensywny rozwój bazy badawczej taboru w wielu przedsiębiorstwach kolejowych, np. SZD (Moskwa), SNCF (Vitry), DB (Monachium). Powstają także nowe badawcze ośrodki kolejowe, np. BR w Derby, INR w Kunitachi i wiele innych. Wymienione instytucje zatrudniają liczne, nierzadko kilkuset osobowe zespoły pracowników.

W zależności od możliwości badawczych i potrzeb zarządów kolejowych badania warunków współpracy elementów pracy koło-szyna przeprowadza się na:

- torze kolejowym;
- torze doświadczalnym, poligonie;
- specjalnych stanowiskach przystosowanych do badań rzeczywistych pojazdów;
- modelach symulujących elementy pary koło-szyna;
- modelach matematycznych pojazdów szynowych (z zastosowaniem ETO).

W ramach kompleksowych badań współpracy elementów pary koło-szyna należy wyjaśnić zależność oddzielnych teoretycznych i eksperymentalnych rezultatów, tak aby naukowe wnioski dały możliwość ich zastosowania w praktyce.

Schemat takich zależności pokazany jest na rys. 1, gdzie: 1 - badania w warunkach rzeczywistych; 2 - teoretyczne badania (modelowanie); 3 - badania stanowiskowe; 4 - sprawdzenie teorii w warunkach rzeczywistych; 5 - imitacja rzeczywistych warunków na stanowisku; 6 - sprawdzenie wyników badań teoretycznych na stanowisku.



Rys. 1. Współzależność pomiędzy teoretycznymi i eksperymentalnymi badaniami

Fig. 1. Interdepedance between theoretical and experimental tests

2. BADANIA W RZECZYWISTYCH WARUNKACH

Badania na torze kolejowym są prowadzone przede wszystkim w celu uzyskania informacji, które wykorzystuje się w następnych metodach badawczych. Prowadzone są one na wzorcowych odcinkach torów lub przypadkowych trasach. Ze względu na losowy charakter są one całkowicie niepowtarzalne oraz ograniczone do możliwości technicznych trasy i badanych pojazdów (stanu toru, prędkości jazdy i in.).

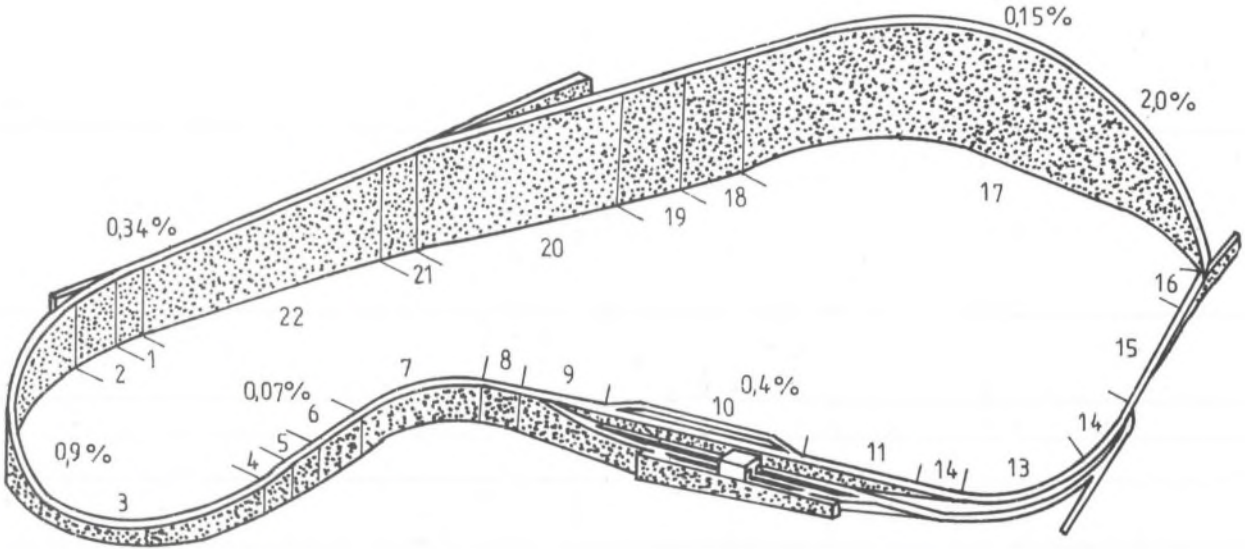
Poza tym przeprowadzenie kompleksowych badań eksperymentalnych na torach kolejowych w warunkach regularnej jazdy pociągów wymaga bardzo dużo czasu oraz narusza warunki eksploatacji kolei. Oprócz tego w rezultacie takich badań można otrzymać tylko ogólne informacje o nowych konstrukcjach bez wyjaśnienia przyczyn i analizy różnych faktów mających wpływ na otrzymane wyniki [2]. Przykładowo wyniki takich badań w kraju jak i zagranicą można znaleźć w pracach [3, 4].

Dla wyeliminowania wielu trudności związanych z badaniami na eksploatowanych torach kolejowych w Stanach Zjednoczonych i Związku Radzieckim wybudowano specjalne tory doświadczalne, poligony, na których prowadzone są kompleksowe badania pojazdów i torów.

Poligon dla przyspieszonych eksploatacyjnych badań różnych konstrukcji toru, zestawu kolejowego oraz oceny metod eksploatacji toru kolejowego znajduje się w Centrum Badawczym Amerykańskich Dróg Kolejowych w Pueblo, stan Colorado. Schemat tego poligonu pokazany jest na rys. 2. Po eksperymentalnym okręgu toru poligonu o długości 7,68 km przez 16 godzin dziennie, 5 dni w tygodniu jeździ obciążony pociąg składający się z 4 lokomotyw i 75 wagonów towarowych z prędkością 64 km/h. Takie warunki pracy zapewniają w ciągu 1 roku imitację 10-letniej eksploatacji toru i pojazdów [2]. Na podstawie otrzymanych wyników badań pracy poszczególnych elementów opracowuje się rekomendację dla Amerykańskich kolei dotyczących projektowania najbardziej racjonalnych konstrukcji i systemu ich eksploatacji w celu obniżenia kosztów i zwiększenia możliwości przewozowych.

3. BADANIA STANOWISKOWE

Badania stanowiskowe stosowane są w celu pomiaru charakterystyk kół, zestawów kolejowych, wózków i całych zespołów jezdnych w czasie toczenia po "idealnym" torze. Konstrukcja "idealnego" toru daje możliwość zmierzyć wybrane parametry, np. parametry geometrii toru i ich odchyłki od projektowanych wielkości lub parametry sprężystości toru. W takim razie stanowiska badawcze pozwalają teoretycznie modelować tor dowolnej konstrukcji z uwzględnieniem łuków, pochyleń i innych faktów. Prędkość jazdy również jest regulowana do maksymalnej wielkości 500 km/h. Można również imitować pracę pojazdu przy rozpędzaniu i hamowaniu. W miejsce szyn na stanowi-



Rys. 2. Schemat poligonu doświadczalnego w Pueblo [2]
1-22 - numery odcinków, nad nimi pokazano pochylenie podjazdów

Fig. 2. Scheme of the proving ground in Pueblo
1-22 - numbers of segments - over them grades of approach roads are presented [2]

skach stosuje się krążki. Stanowiska takie pozwalają na obserwację procesów powstawania w zestawach kolejowych pęknięć zmęczeniowych i charakteru dalszego ich rozwoju. Na charakterystyki eksploatacyjne negatywny wpływ mają również chropowatość powierzchni i jej zanieczyszczenie wodą, olejem, ziemią, śniegiem. Właściwości materiału określają charakter i zmianę powierzchni kontaktu, a także profilu koła i szyny. Znaczny wzrost w ostatnich latach obciążenia na oś powoduje poważne problemy związane z pracą toru, zestawów kolejowych i niektórych elementów pojazdów. Te obciążenia i wywołane nimi naprężenia ważne są nie tylko jako parametry statyczne, ale niezbędne są do określenia dynamicznych sił, które są bezpośrednio lub pośrednio związane z masą i obciążeniem statycznym i dlatego oddziaływują na kontakt koła z szyną.

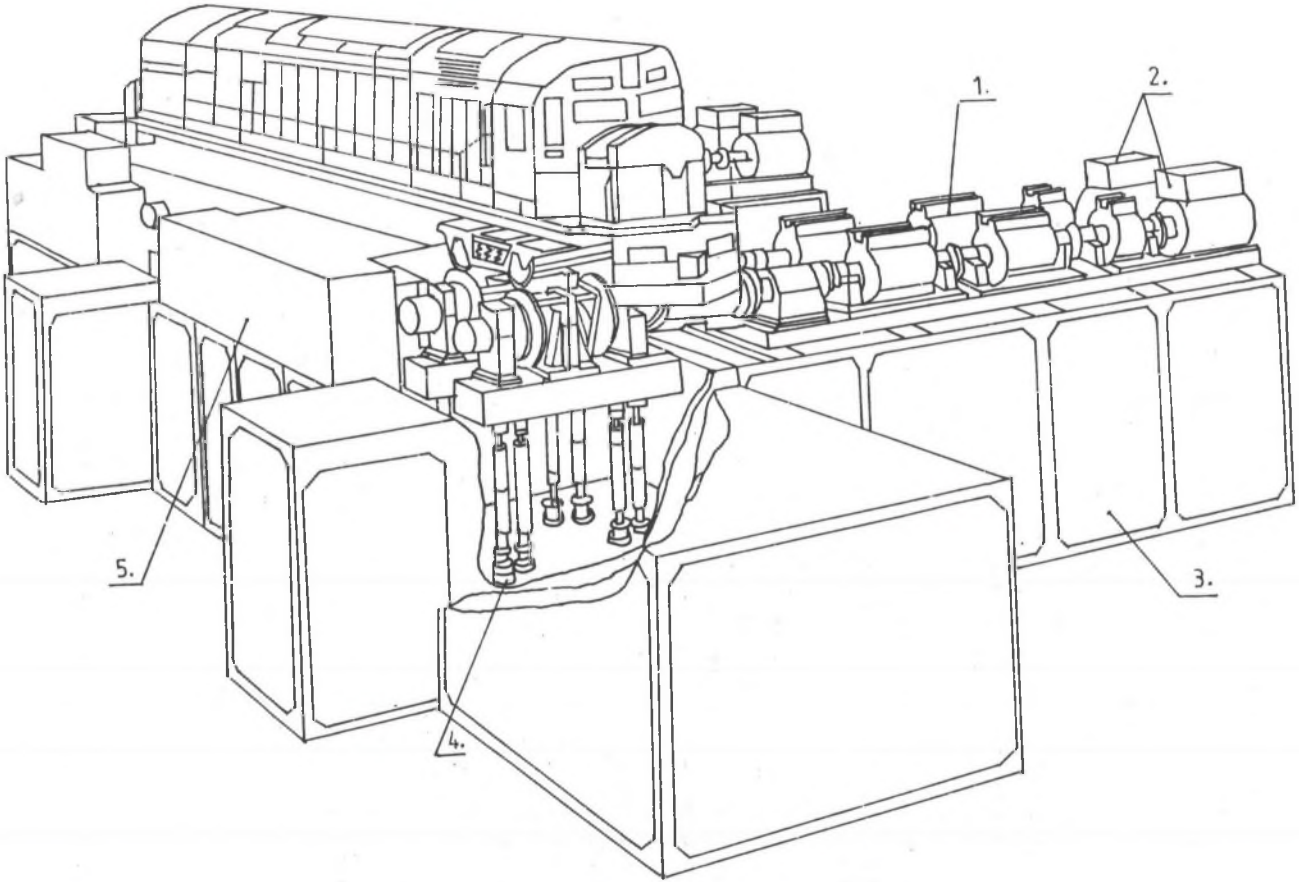
Wyniki badań stanowiskowych, mierzonych wieloma czujnikami, zamocowanych na częściach mechanizmów jazdy i toru, zbiera się i opracowuje w centrum pomiarów i kierowania za pomocą techniki komputerowej. Rezultaty eksperymentów porównuje się z teoretycznie wyliczonymi wielkościami otrzymanymi dla analogicznych warunków jazdy za pomocą modelowania matematycznego.

Jednym z bardziej interesujących i najstarszych zarazem stanowisk do badania charakterystyk dynamicznych całych pojazdów jest stanowisko w Vitry [5]. Umożliwia ono ocenę pojazdów pod względem stateczności ruchu zestawów po torze, komfortu jazdy, określonego stopniem drgań występujących w pudle oraz wyznaczanie charakterystyk dynamicznych całych pojazdów w zakresie parametrów charakteryzujących drgania i wymuszenia poprzeczne, pionowe, kołysanie i galopowanie.

Omawiane stanowisko badawcze składa się z dwóch głównych zespołów, wyposażonych w hydraulicznie sterowane siłowniki, przeznaczone do niezależnego lub sprzężonego inicjowania drgań wymuszonych, działających na każdy wózek badanego pojazdu. Odległość między zespołami wymuszającymi drgania może być regulowana, zależnie od rozstawu czopów osi lub czopów skrętu pojazdu, w granicach od 1,45 do 22,5 m. Stanowisko umożliwia badania pojazdów o nacisku osi do 20 T. Układ sterowania siłownikami pozwala na uzyskiwanie pojedynczych wymuszeń (jednostkowych cykli) lub na odwzorowanie warunków odpowiadających jeździe pojazdu po torze z szybkością do 200 km/h, a w przypadkach krótkotrwałych - nawet do 300 km/h.

Aparatura pomiarowa składa się z oscylografów do rejestracji 50 sygnałów wzmocnionych przez odpowiednie wzmacniacze, a pochodzących do wychyleń, przemieszczeń, przyspieszeń. Zestaw pomiarowy, rejestrujący sygnały na taśmach oscylografu może być zdublowany rejestratorami magnetycznymi, połączonymi z zespołem liczników statystycznych lub komputerem do matematycznej obróbki rejestrowanych przebiegów.

W Laboratorium Dynamicznym Ośrodka Badań Stanowiskowych (USA) skonstruowano stanowisko badawcze przeznaczone do badania całych pojazdów (rys. 3) [6]. W stanowisku tym szyny zastąpiono rolkami, które napędzane



Rys. 3. Schemat stanowiska w Pueblo [6]

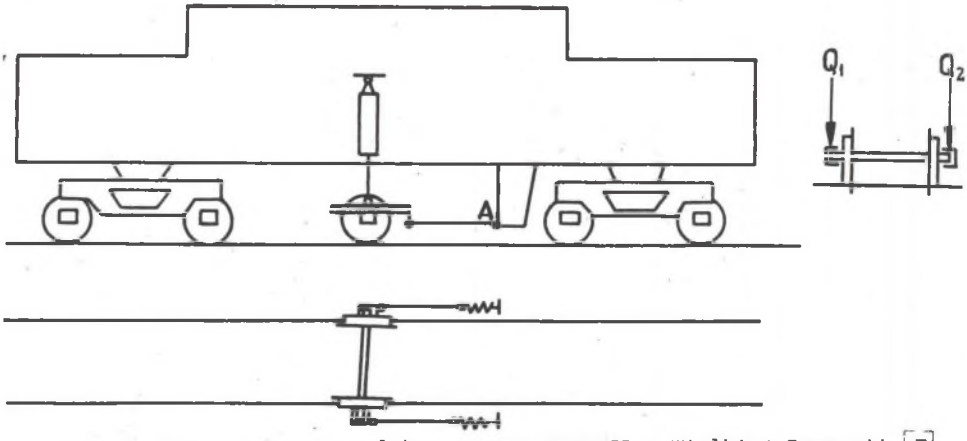
Fig. 3. Scheme of the stand in Pueblo [6]

są poprzez układ silników i przekładni zębatych. Podtrzymują one pojazd badany w czasie próby. Hydrauliczny symulator może wywołać wibracje i zmiany pozycji pojedynczych rolek, ażeby zasymulować szeroką gamę warunków na torze. Próby mają miejsce w hali o wymiarach 116 x 30 x 20 m, wyposażonej w dwie suwnice o udźwigu 100 ton do podnoszenia najcięższych lokomotyw. Przed właściwą próbą odbywa się wstępna próba statyczna dla otrzymania charakterystyk zawieszenia pojazdu na osobnym stanowisku. Tutaj nieruchomy pojazd poddawany jest wibracjom za pomocą hydraulicznego symulatora, aby pobudzić zawieszenie w celu określenia charakterystyk rezonansowych i współczynników tłumienia. Oszczędza to czas symulatora dynamicznego a także pozwala na wcześniejszą kalibrację zawieszenia i zdjęcie charakterystyk wibracyjnych. Fundament, na którym osadzony jest symulator dynamiczny ma wymiary: 70 x 26 x 7 m. Można na nim testować jakikolwiek napędzany lub nienapędzany 4-osiowy pojazd o masie do 180 T z prędkością do 500 km/h używając rolek o średnicy nie mniejszej niż 1050 mm. Rozstaw osi może być zmieniany od standartowego do 1650 mm. Rolki, na których umieszczony jest pojazd badany, mogą symulować zakrzywienie toru o promieniu nie mniejszym niż 30 m oraz o pochyle toru 3°. Każda rolka jest napędzana przez 450 kW silnik prądu stałego poprzez układ napędowy, który zawiera koła zamachowe służące symulacji:

- bezwładności pojazdu;
- bezwładności kół w ruchu obrotowym;
- sztywności wzdłużnej szyny;
- hamowania hamulcem bezpieczeństwa.

Rolki zamontowane są razem z dwoma torowymi modułami - jednym na każdy zestaw kołowy, które mogą poruszać się w trzech kierunkach. Tor może być symulowany przez nachylenia lub wibracje rolek poprzez hydrauliczny symulator. Tor idealny symuluje się przy nieruchomych rolkach; wibracje pionowe mogą być badane, jeśli chce się sprawdzić zawieszenia pojazdu lub efekt przerw na jego obciążenie. Hałas i temperaturę mierzy się razem z przemieszczeniami, przyspieszeniami, odkształceniami, naprężeniami i zmęczeniem materiału. Próby prowadzone są przy użyciu komputerów do kierowania analogowym systemem kontroli, który generuje sygnały elektryczne kontrolujące elektroserwozawory hydrauliczne wytwarzające wibracje i inne ruchy. Częstotliwości od 0 do 100 Hz mogą być wywołane przez 25 niezależnych kanałów kontrolnych. Rejestrowanie drgań odbywa się za pomocą specjalnych kamer i urządzeń stroboskopowych. W czasie próby dane z aparatury rejestrującej są na bieżąco wyświetlane na monitorze kontrolnym.

W Wielkiej Brytanii koleje brytyjskie [7] eksploatują wagon - Laboratorium DECAPOD - przedstawiony na rys. 4. Badany zestaw kołowy umieszczony jest centralnie między wózkami wagonu Laboratorium. Prowadzony jest on względem ramy wagonu wzdłużnie ułożonymi drążkami. Drążki prowadzące umożliwiają nastawienie kąta nabiegania. W węźle A umieszczone są elemen-

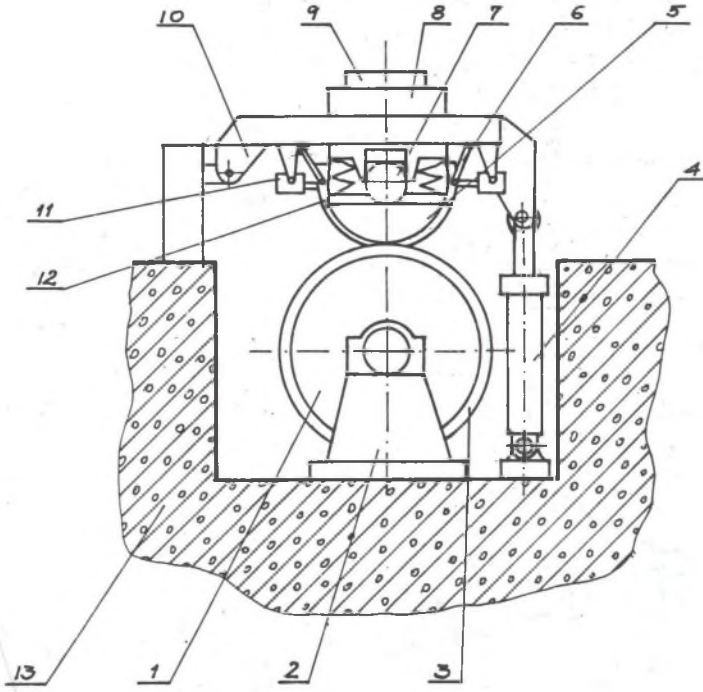


Rys. 4. Schemat wagonu - laboratorium DECAPOD w Wielkiej Brytanii [7]
Fig. 4. Scheme of the railway car - laboratory DECAPOD in the Great Britain [7]

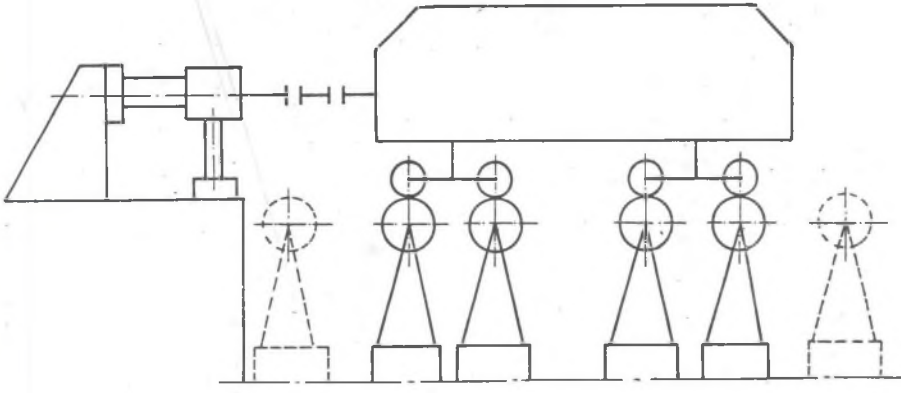
ty sprężyste. Zestaw kołowy jest obciążany hydraulicznie siłami pionowymi i siłą poprzeczną. Gdy zestaw kołowy jest zestawem pomiarowym, to możliwy jest pomiar sił: wzdłużnej, pionowej i poprzecznej, działających na każde koło.

W Japonii firma "Sumitomo Kindzoku Kogjo" [8] od wielu lat wykorzystuje do badań kół stanowisko, którego schemat przedstawiony jest na rys. 5. Stanowisko składa się z dwóch tarcz podporowych (1) połączonych między sobą wałem, osadzonym w łożyskach (2). Wał połączony jest z silnikiem prądu stałego, przy czym możliwa jest regulacja prędkości obrotowej tarcz. Powierzchnia krawędzi tarcz podporowych w postaci obręczy (3) w razie potrzeby może być wymieniana. Na tarczach podporowych ustawia się parę kół (5) podlegających badaniom. Para kół z łożyskami tocznymi (7) utwierdzona jest na sprężynowym zawieszeniu (6) na ramie (8) stanowiska. Rama za pomocą przegubu (10) połączona jest z podstawą zamocowania na fundamencie (13). Parę kół przyciska się do tarcz podporowych za pomocą siłownika hydraulicznego (4), trzon którego przymocowany jest do ramy, a cylinder do fundamentu. Obciążenie na parę kół można również uzyskać za pomocą ciężaru (9) nakładanego na ramę (8). Konieczny moment hamujący realizuje się poprzez hamulce klockowe (12). Przyciśnięcie klocków i ich odsunięcie uzyskuje się za pomocą napędu hydraulicznego (11). Prędkość obrotowa kół podczas badań odpowiada prędkości ruchu, tj. 300 km/h. Obciążenie na oś może wynosić 150-200 kN.

W RFN w wyniku zlecenia Ministerstwa ds. Nauki i Techniki opracowano stanowisko badawcze [9] przedstawione na rys. 6. W stanowisku tym szyny zostały zastąpione przez rolki. Aby koła rolkowe mogły symulować efekty jakie dają szyny, w różnych stytuacjach, każda rolka musi posiadać pięć stopni swobody i wykonywać następujące rodzaje ruchów:



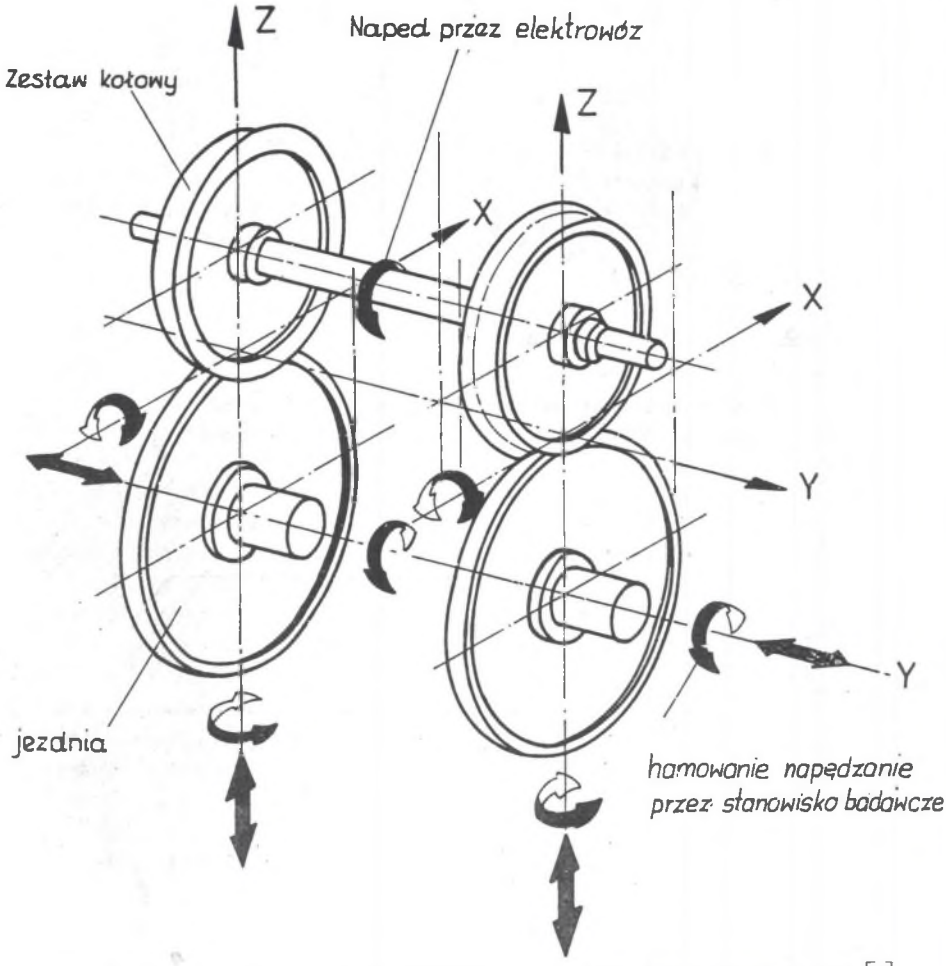
Rys. 5. Schemat stanowiska koleji japońskich [8]
Fig. 5. Scheme of the Japaanese railway stand [8]



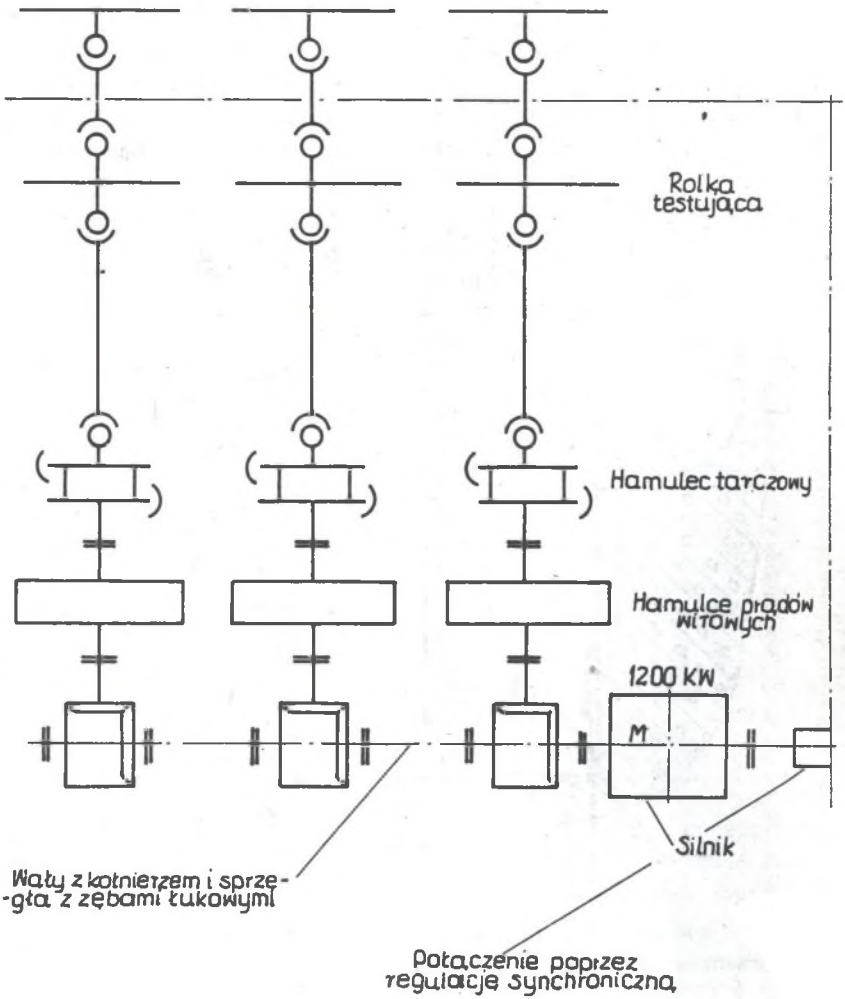
Rys. 6. Schemat stanowiska badawczego w RFN [9]
Fig. 6. Scheme of the test stand in the Federal Republic od Germany [9]

1. W kierunku "y" obrazujące zmiany rozstawu osi;
2. W kierunku "z" obrazujące wady wysokości;
3. Wokół osi "X" dla różnych nachyleń szyny;
4. Wokół osi "z" dla łuków;
5. Wokół osi "z" i wokół osi "x" jednocześnie dla skręcenia szyn;
6. Wokół osi "y" dla skręcenia poruszających się kół.

Na rys. 7 przedstawiono ogólnie stopnie swobody koła rolkowego podczas jazdy. Rodzaje ruchów potrzebne do symulacji jazdy realizowane są za pomocą siłowników hydraulicznych. Ogólny schemat pojedynczego zespołu przedstawia rys. 8. Stanowisko rolkowe umożliwia badanie oddzielnych par kół



Rys. 7. Widok ogólny stopni swobody stanowiska badawczego w RFN [9]
Fig. 7. General view of the degree of freedom of the stand in the Federal Republic of Germany [9]

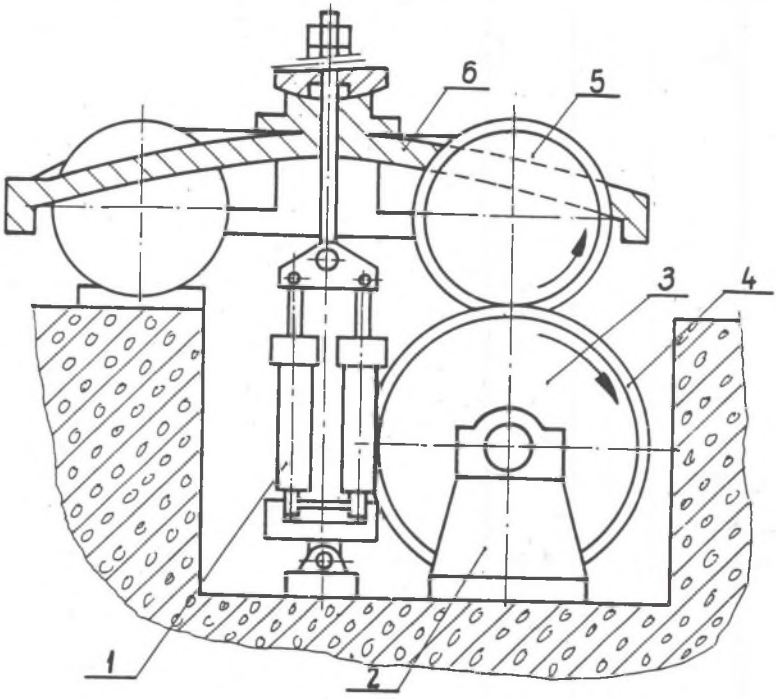


Rys. 8. Schemat pojedynczego zespołu napędowego [9]
Fig. 8. Scheme of the single power unit [9]

i zestawów kołowych. Składa się z sześciu par rolek, które mogą poruszać się, aby umożliwić badanie pojazdów o sześciu osiach. Każda z nich jest zamontowana oddzielnie i może przemieszczać się niezależnie w trzech płaszczyznach w celu imitacji praktycznie wszystkich warunków pracy zestawu kołowego. Na stanowisku mogą być badane pojazdy szynowe mające do sześciu osi, o długości do 30 m, o szerokości do 4,3 m, największej wysokości 6 m, o rozstawie osi od 1435 mm do 1676 mm, przy maksymalnym obciążeniu koła 125 kN i o maksymalnym rozstawie maźnic 23 m. Moc napędu stanowiska 2400 kW realizowana jest przez dwa silniki każdy po 1200 kW. Układ napędowy może wytrzymywać przeciążenia dochodzące do 50% w ciągu 5 minut.

Hamowanie stanowiska dokonuje się generatorowym systemem pracy silników. Rolka imitująca szynę posiada średnicę 1400 mm, a maksymalna liczba obrotów wynosi 1900 obrotów/min, co odpowiada prędkości 500 km/h.

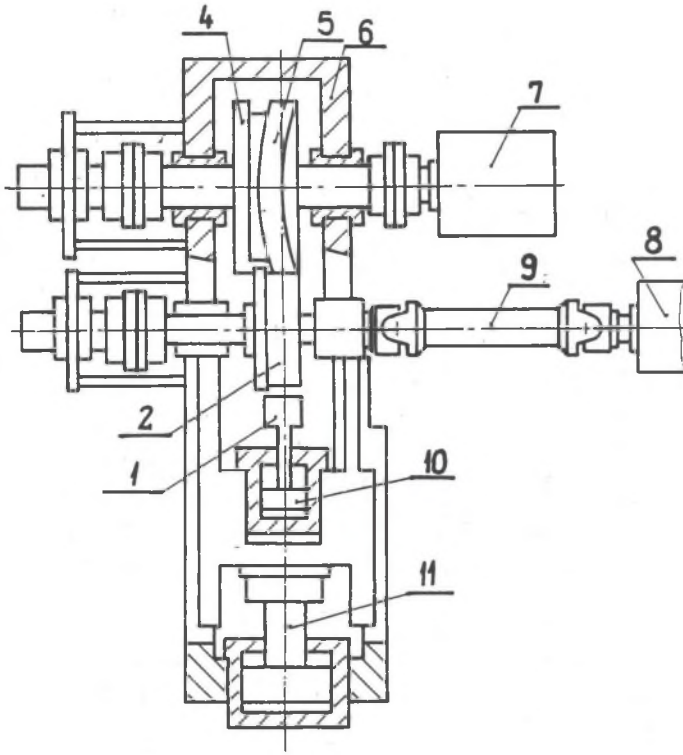
W NRD eksploatuje się stanowisko [8], którego konstrukcję przedstawiono na rys. 9. Założenia konstrukcyjne stanowiska umożliwiają prowadzenie



Rys. 9. Schemat stanowiska badawczego w NRD [8]
Fig. 9. Scheme of the test stand in the German Democratic Republic [8]

badań pary kół zamontowanych na wózku wagonowym. Obciążenie na wózek dokonuje się za pomocą siłowników hydraulicznych. Stanowisko składa się ze wspomnianych siłowników hydraulicznych (1), podpór rolek z łożyskami (2), rolek imitujących szyny (3), pierścieni stanowiących właściwą bieżnię rolek (4), badanego koła (5) oraz wózka wagonowego (6). Prędkość obrotu rolek odpowiada prędkości ruchu pojazdu do 200 km/h przy obciążeniu na oś 150-200 kN.

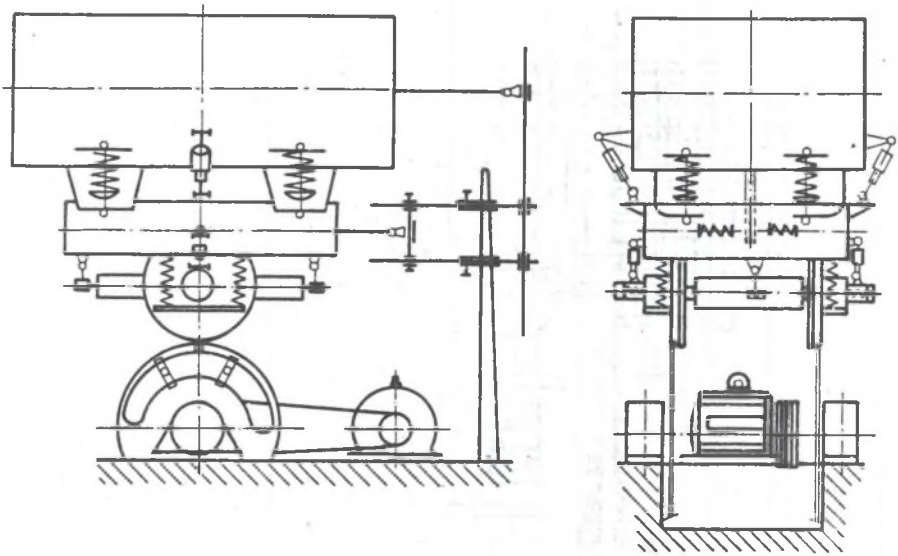
W ZSRR do badań dynamicznych opracowano stanowisko [8] przedstawione na rys. 10. Składa się ono z hamulca klockowego (1) badanego koła (2), siłowników hydraulicznych obciążenia osi (3), rolki symulującej szynę (4), pierścienia rolki (5), obudowy (6), silnika elektrycznego do napędu rolki (7), silnika elektycznego do napędu badanego koła (8), wału łączącego badane koło z napędem (9), siłownika hydraulicznego hamulca (10) oraz siło-



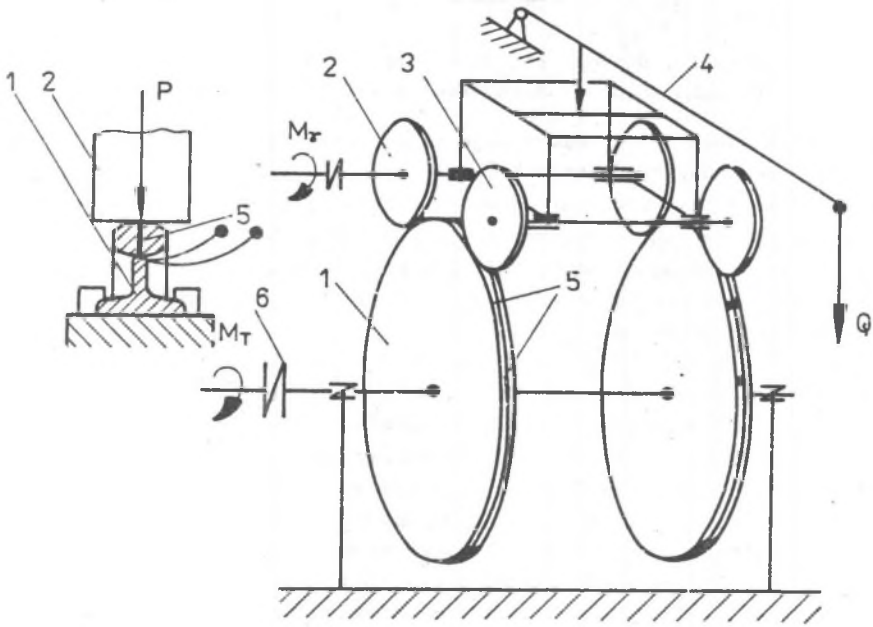
Rys. 10. Schemat stanowiska badawczego w ZSRR [8]
Fig. 10. Scheme of the test stand in the USSR [8]

wnika hydraulicznego do promieniowego obciążenia koła (11). Obręcz wałka podporowego posiada krzywą bieżnię do imitacji poziomych obciążeń oddziałujących na koło. Charakterystycznym dla tego stanowiska jest obecność 2 silników przenoszących obroty na badane koło i wałek podporowy. Silniki te połączone są według schematu bustera. Przy badaniu kół dla lokomotyw silnik elektryczny napędu koła pracuje w systemie pracy napędu, a wał w systemie pracy generatora.

W Leningradzie (LIIŻT) [10] znajduje się stanowisko (rys. 11), na którym można badać modele pojazdów szynowych w skali. Łączy ono model pojazdu z jego ruchem po torze kolejowym. Wykonuje się model w skali 1:4 czteroosiowych pojazdów szynowych i 1:5 sześcioosiowych. Przewidziano możliwość wariantowania parametrów pojazdów oraz charakterystyk sił bezwładności, sprężystości, tłumienia i wymuszenia. Tor kolejowy imitują rolki wibracyjne (1) napędzane elektrycznymi silnikami prądu stałego (2) umieszczone na sprężystych podkładach (3) i oddziaływujące na zestawy kolejowe. Rolki wibracyjne wytwarzają okresowe wymuszenia sinusoidalne, a także przemieszczenia zestawów kołowych (4) w płaszczyźnie pionowej oraz ruch obrotowy w płaszczyźnie poziomej. Stanowisko umożliwia badanie



Rys. 11. Schemat stanowiska badawczego w LIIŻT - Leningrad [10]
Fig. 11. Scheme of the test stand in LIIŻT - Leningrad [10]



Rys. 12. Schemat stanowiska badawczego w ZSRR [11]
Fig. 12. Scheme of the test stand in the USSR [11]

dynamicznego oddziaływania pojazdu i toru, parametrów ruchowych pojazdu, różnych tłumików drgań i typów sprężystego zawieszenia oraz podstawowych rodzajów modeli pojazdów.

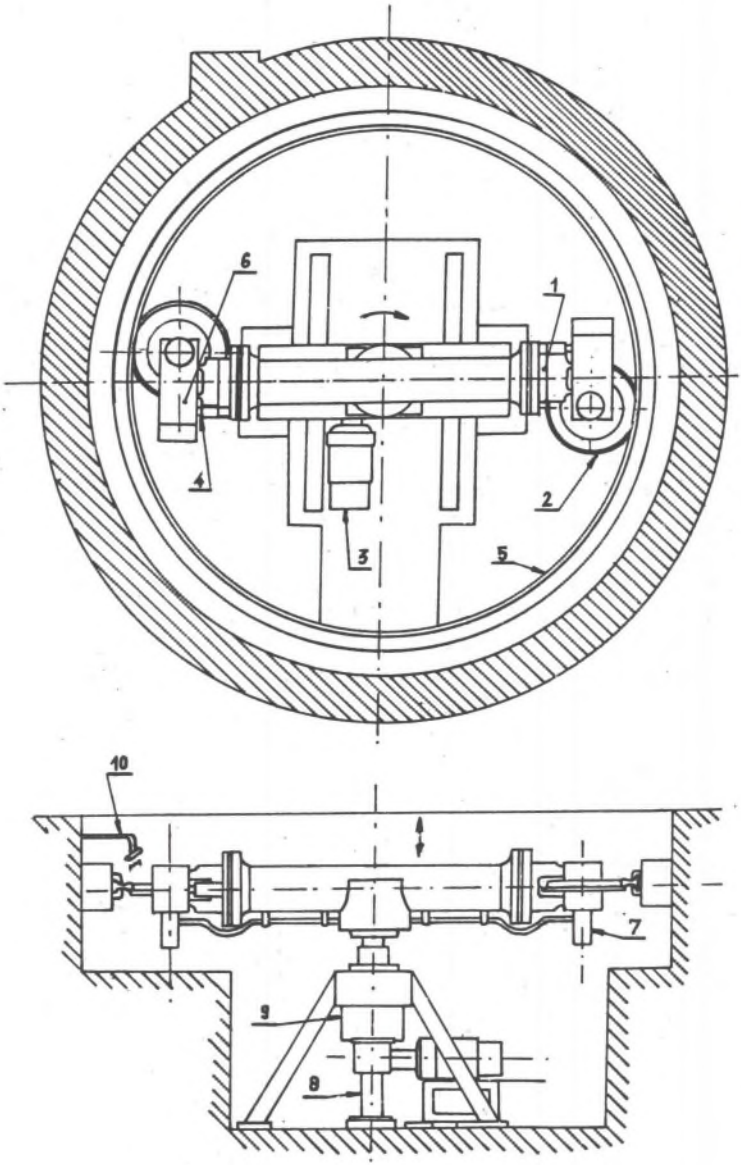
Stanowisko badawcze [11], którego zasada działania oparta jest na zamodelowaniu procesu toczenia zestawu kołowego po szynach, przedstawiony jest na rys. 12.

Elementy pary koło-szyna zostały zamodelowane w skali 1:8. Na stanowisku tym tor przedstawiony jest jako para dysków (1), po której przemieszcza się ruchoma para kół (2) i swobodna para kół (3). Obrót ruchomej pary kół osiąga się poprzez napęd pary dysków (3) za pomocą silnika elektrycznego. Układ dźwigniowy (4) dociska z siłą P parę kół do zamodelowanego toru. Siłę styczną T w płaszczyźnie kontaktu uzyskuje się za pomocą specjalnego dynamometrycznego sprzęgła (6). Pomiar nacisku w płaszczyźnie kontaktu modelu koła i szyny dokonuje się za pomocą mikroczujników (5), które zamontowane są w otworach na powierzchni pary dysków (1). Końce czujników za pomocą tensometrycznej aparatury podłączone są do urządzenia rejestrującego. Na stanowisku tym można badać nacisk kół na szynę, siłę styczną oraz powierzchnię płaszczyzny styku.

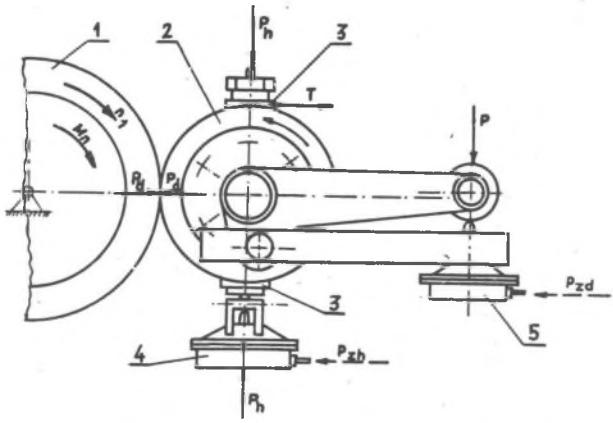
W związku z uruchomieniem w Japonii szybkobieżnych kolei "Shinkansen" skonstruowano i wybudowano stanowisko do badania trwałości kół, którego schemat przedstawiono na rys. 13 [12]. Podstawowe dane techniczne: obciążenia promieniowe - max 10 T (dla małych prędkości) - max 30 T (dla dużych prędkości); obciążenie pionowe - max 5 T; maksymalna prędkość - 260 km/h; skręcenie koła - od 0 do $\pm 3^{o}$; system hamowania - hamulcem hydraulicznym i silnikiem elektrycznym. Do głównych elementów stanowiska należą: 1 - układ symulujący jazdę na zakrętach; 2 - koło; 3 - silnik elektryczny napędzający i hamujący; 4 - siłownik hydrauliczny; 5 - szyna; 6 - wahacz; 7 - silnik hydrauliczny; 8 - siłownik hydrauliczny pionowego ruchu; wirnika; 9 - skrzynka przekładniowa; 9 - spryskiwacz wodny.

Stanowisko to posiada licznik przebytej drogi, instalację umożliwiającą hamowanie wg programu, spryskiwacz wodny do symulacji warunków atmosferycznych oraz systemy zabezpieczające.

Na Politechnice Krakowskiej skonstruowano stanowisko badawcze (rys.14), na którym można badać zależności pomiędzy siłami nacisku, siłami nacisku na klockach hamulcowych i siłami tarcia [13]. Badane koło jest napędzane momentem M_n pochodzącym od koła symulującego szynę. Podstawowymi elementami stanowiska i parametrami są: 1 - szyna; 2 - obręcz koła; 3 - hamulec szczękowy; 4 - siłownik pneumatyczny hamulca; 5 - siłownik pneumatyczny obciążenia; P_n - siła nacisku na klocki hamulcowe; T - siła tarcia; P_d - siła działająca na styku koła i szyny; P - siła wywierana przez siłownik (5) na ramię obciążające. Stanowisko to posiada możliwość prowadzenia badań w założonej skali. Stosowane prędkości osiągane na stanowisku - od 0 do 100 km/h.



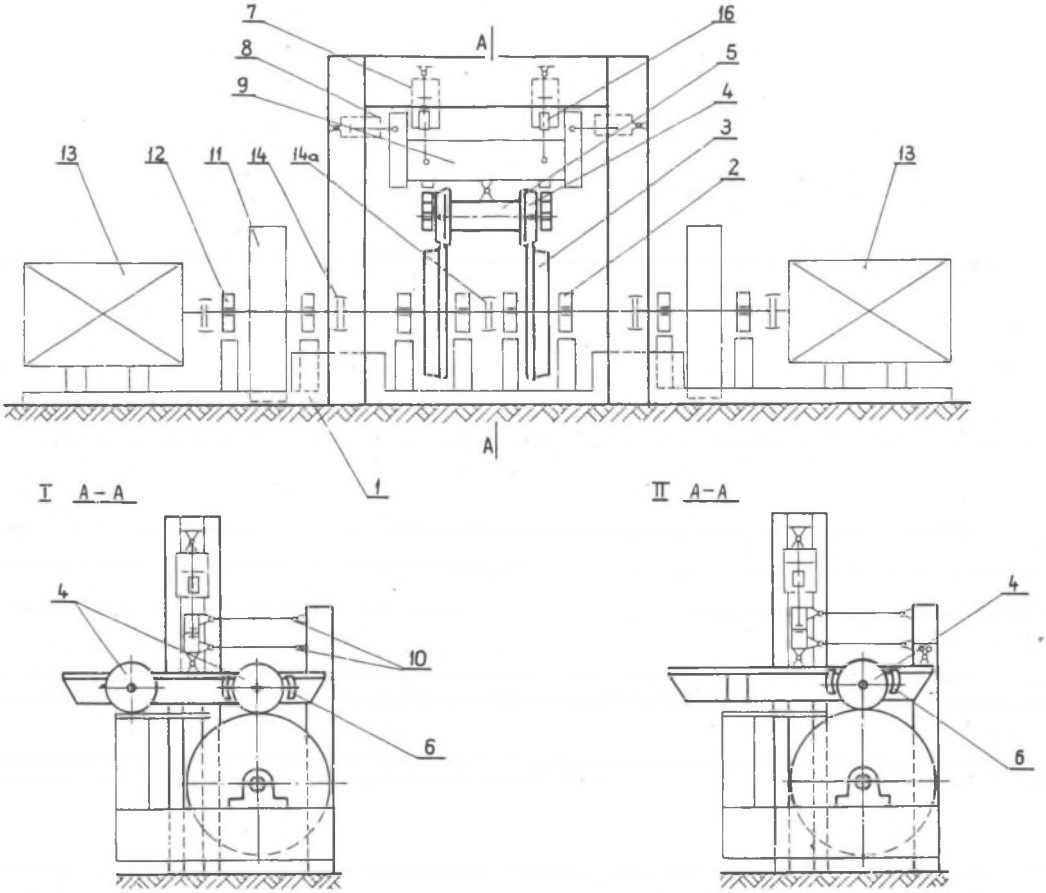
Rys. 13. Schemat stanowiska badawczego w Japonii [12]
Fig. 13. Scheme of the test stand in Japan [12]



Rys. 14. Schemat stanowiska badawczego Politechniki Krakowskiej [13]
Fig. 14. Scheme of the test stand of the Cracow Technical University [13]

Na Politechnice Śląskiej na Wydziale Mechanicznym Technologicznym [14] opracowano projekt stanowiska do badania niezawodności i trwałości zestawów kołowych (rys. 15). W skład symulatora stanowiska wchodzi: rama; siłowniki hydrauliczne; rama zastępująca nadwozie wagonu; rama zastępująca wózek wagonowy, w której mocowane są badane modele zestawów kołowych; koła zastępujące tor kolejowy; koła zamachowe zastępujące masę wagonu; układ napędowy; układ sterujący.

Ramę (1) symulatora zaprojektowano jako samonośną zrobioną z kształtowników. Do dolnej części ramy zamocowano obudowę z łożyskami tocznymi (2), w której osadzono wały z kołami zastępującymi tor jezdny (3). Na kołach tych porusza się badany model zestawu kołowego (4) zamocowany w ramie zastępującej wózek wagonowy (5). Symulacja hamowania możliwa jest poprzez układ hamulcowy (6). Badany model obciążony jest przez dwa siłowniki pionowe (7) i dwa siłowniki poziome (8) za pomocą ramy zastępującej nadwozie wagonu (9). Dla utrzymania wózka w stałym położeniu zastosowano 4 łączniki (10). Dwa koła zamachowe (11) ułożyskowano w łożyskach tocznych (12) zastępujących masę wagonu przypadającą na jedną oś. Napęd symulatora zapewniają silniki elektryczne prądu stałego (13). Wały silników oraz pozostałe wały połączoną są wzajemnie sprzęgłami zębatymi (14). Symulacji obciążenia zestawu kołowego podczas jazdy dokonuje się przez zamocowanie w wózku jednego lub dwóch zestawów kołowych oraz pracę siłowników pionowych (7) i poziomych (8) według ustalonego programu. Zamocowanie dwóch zestawów kołowych, z których jeden porusza się na kołach zastępujących tor, a drugi spoczywa na ramie umożliwia badanie, oprócz modelu zestawu kołowego, badanie modelu wózka wagonowego określonej konstrukcji. Obciążenia obu zestawów realizują siłowniki pionowe (7) i siłowniki poziome (8), przy czym te ostatnie działają na przemian. Zamocowanie w wózku tylko jednego zestawu kołowego (4) powoduje, że wózek spełnia rolę



Rys. 15. Schemat stanowiska badawczego Politechniki Śląskiej w Gliwicach [14]
Fig. 15. Scheme of the test stand in Technical University in Gliwice [14]

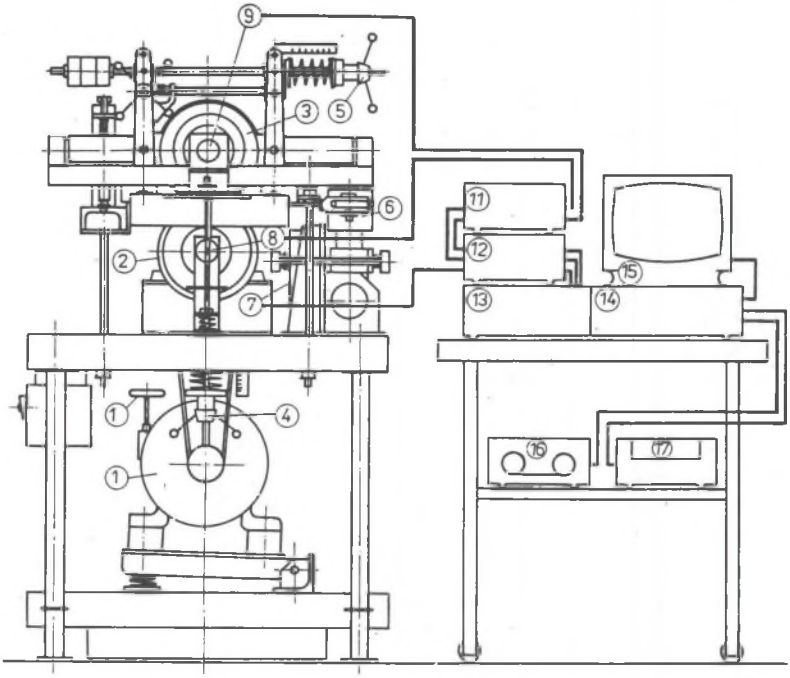
dźwigni jednoramiennej, obciążającej badany zestaw kół do kół zastępujących tor. W tym przypadku dla wywołania tych samych nacisków między kołami a szyną potrzeba czterokrotnie mniejszej siły siłowników (7) i (8), niż poprzednio. Umieszczenie siłowników poziomych (8) na odpowiedniej wysokości ramy zastępującej nadwozie wagonu (9) odpowiada wysokości położenia środka ciężkości wagonu rzeczywistego. Takie ustawienie powoduje, że przy zadziałaniu siłownika poziomego (8) następuje samoczynna zmiana obciążenia pionowego kół, identyczna do zmiany, jaka występuje na łukach toru. Działanie kół zamachowych (11) przy hamowaniu zestawu kołowego powoduje powstawanie siły stycznej między kołami a szynami, czyli jest identyczna do oddziaływania masy wagonu hamowanego w warunkach normalnej eksploatacji. Hamulec jest sterowany hydraulicznie według odpowiedniego programu zsynchronizowanego z układem sterowania silnikami. Dwa silniki elektryczne (13) zapewniają badania przy maksymalnym obciążeniu symulatora. Jazdę zestawu kołowego na łukach toru symuluje się przez osobne napędzanie kół (3) różnymi siłami przy rozłączonym sprzęgle (14). Wszystkie elementy symulatora umieszczone są na dwóch dwuteownikach, które przymocowane są do podłoża.

W COBiRTK w Warszawie wykorzystuje się stanowisko [15] będące konstrukcją do badań statycznych elementów pojazdów, jak również do badań innych konstrukcji inżynierskich (np. fragmentu przęsła mostowego). Stanowisko posiada konstrukcję kratownicową w formie sześcianu, którego wnętrze jest na tyle obszerne, że może pomieścić elementy wielkości wózka wagonowego. Badanie przeprowadza się w ten sposób, że wewnątrz kratownicy umieszcza się za pomocą siłowników hydraulicznych badany element. Siłowniki z jednej strony mocowane są do elementów kratownicy, a z drugiej do badanego elementu, mocując go i jednocześnie oddziałując na niego siłami różnej wielkości i częstotliwości. Z wielką precyzją konstrukcja kratownicy pozwala na działanie siłowników różnej wielkości z każdego praktycznie kierunku. Na badanym elemencie naklejone są tensometry, które pozwalają odczytać bezpośrednio w czasie próby naprężenia, współczynnik tłumienia, odkształcenia.

W Węgierskim Instytucie Kolejnictwa [16] skonstruowano stanowisko do badania tarcia tocznego między szyną a kołem (rys. 16). Stanowisko to składa się z:

1) urządzenia do badania tarcia tocznego;
2) układu pomiarowego;
3) układu obróbki pomierzonych danych.

Urządzenie składa się z silnika elektrycznego (1) o mocy znamionowej 2,8 kW i znamionowej liczbie obrotów równej 2700 obr/min, który obraca poprzez przekładnię pasową o przełożeniu 0,75 oś koła czynnego (2) posiadającego profil powierzchni styku odpowiadający profilowi szyny. Koło czynne wprawia w ruch obrotowy koło modelowe (3) dociskane w kierunku promieniowym. Docisk koła czynnego do modelowego uzyskujemy poprzez wzor-



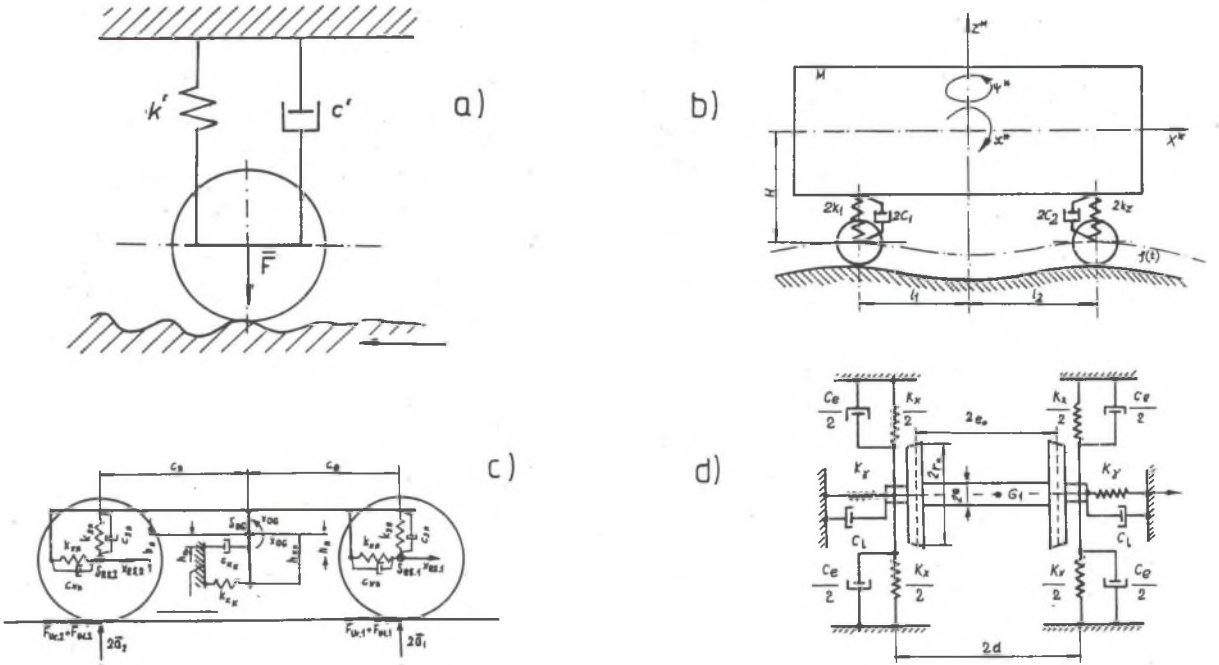
Rys. 16. Schemat stanowiska badawczego na Węgrzech [16]
Fig. 16. Schome of the test stand in Hungary [16]

cową sprężynę, która jest wstępnie naprężona za pomocą koła pokrętnego (4). Styczną siłę pełzania występującą w punkcie styku kół, nastawiamy za pośrednictwem hamulca klockowego, którego docisk reguluje sprężyna, którą regulujemy poprzez koło pokrętne (5). Koło modelowe ułożyskowane jest na górnej ramie i za pomocą zespołu dźwigni i drążków (6) uzyskujemy pomiar siły.

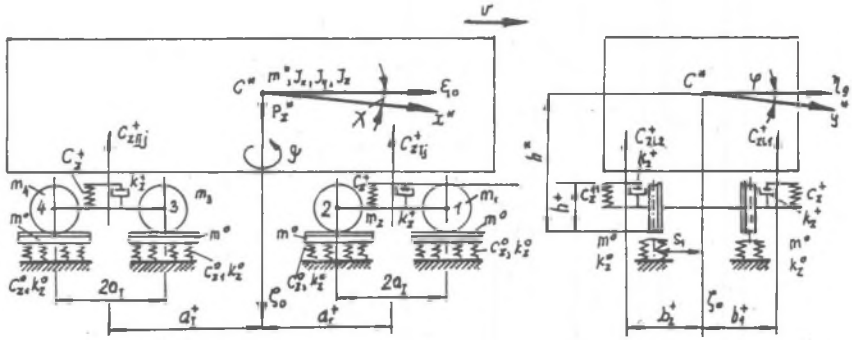
4. BADANIA MODELI MATEMATYCZNYCH

Badania modeli matematycznych sprowadzają się do przyjęcia pewnych układów matematycznych tworzących układ zastępczy, ich drgania symulują drgania rzeczywistego pojazdu szynowego [10]. Przykłady zastępczych układów mechanicznych systemu pojazd-tor, od bardzo prostych do bardziej złożonych pokazano na rysunkach 17 i 18.

Układ zastępczy, zbudowany na powyższej zasadzie, opisuje się szeregiem równań różniczkowych i algebraicznych, których rozwiązania umożliwiają analizę drgań, a zwłaszcza wpływ różnych parametrów na ich rodzaje i postacie. Przydatność badań modeli matematycznych do analizy dynamiki elementów pary koło-szyna zależy od dokładności z jaką układ zastępczy odwzorowuje zachowanie się rzeczywistego układu.



Rys. 17. Przykłady zastępczych układów mechanicznych systemu pojazd-tor
Fig. 17. Examples of replacing mechanical systems for the system vehicle-rail



Rys. 18. Zastępczy układ mechaniczny przy obliczeniach systemu pojazd-tor

Fig. 18. Replacing mechanical system for computation of the system vehicle-rail

Rzeczywistemu pojazdowi szynowemu może odpowiadać kilka równoważnych układów zastępczych, strukturalnie podobnych, w opisie matematycznym różnych zależnie od przyjętych metod opisu równań ruchu, uproszczeń fizycznych i matematycznych, zewnętrznych oddziaływań na pojazd itp. Kryterium budowy układu zastępczego stanowi uwzględnienie w jego budowie tych własności rzeczywistego pojazdu szynowego, które mają decydujący wpływ na badane procesy i zjawiska, a pominięcie cech nieistotnych komplikujących analizę badawczą [10].

Przykładowo w pracy [17], dla uproszczenia obliczeń dynamicznych prostopadłych sił przekazujących zestawami kolejowymi na szyny, przyjęto do rozważań tylko główne, największe siły i pominięto lub uwzględniono pośrednio pozostałe siły.

Do głównych podstawowych sił mających wpływ na stan obciążenia dynamicznego szyny przyjęto:

- masę pojazdu przekazywaną przez koło na szynę;
- siły przekazywane przez resorowanie kół przy drganiach nadwozia;
- siły bezwładności nieresorowanych mas powstające na sprężystym torze pod wpływem występowania nierówności toru i kół;
- pionowe siły powstałe przy ruchu pojazdu po krzywej trajektorii związane z podwyższeniem zewnętrznej szyny na łuku i działanie przy tym na zestaw kolejowy poziomych poprzecznych sił.

Przedstawione wyżej zasady, zastosowane do sił pionowych mogą być przyjęte i dla sił poziomych przy współpracy koła z szyną.

Bardziej szczegółowe opisy modelowania matematycznego współpracy elementów pary koło-szyna można znaleźć np. w pracach [17, 18, 19, 20].

5. UWAGI I WNIOSKI KOŃCOWE

1. Artykuł jest ogólnym ujęciem problemów związanych z badaniem elementów pary systemu koło-szyna.

2. Kompleksowe badania tego systemu wskazują na konieczność prowadzenia jednocześnie badań eksploatacyjnych, stanowiskowych i teoretycznych, które dają możliwość opracowania wytycznych związanych z konstrukcją i eksploatacją tego systemu.

3. Przedstawiony przegląd stanowisk badawczych pary koło-szyna pozwoli na doskonalenie tych konstrukcji, które umożliwią przeprowadzenie bardziej dokładnych badań tego systemu.

LITERATURA

[1] Problemy kolejnictwa. Zeszt 60, Warszawa 1974.

[2] Beck R.F.: The track cyclopedia. Simmons-Boardman Publishing Corp. Omaha, 1987.

[3] Gawryś T.: Identyfikacja obciążeń szyny kolejowej na wybranych odcinkach sieci PKP. Praca badawcza Politechniki Śląskiej w Gliwicach, NB-147/RMK/79.

[4] Riechers G.: Eksperymentalne badania techniko-ekonomicznych możliwości systetmu koło-szyna. Eisenbahningenieur, 1980, T. 31, nr 7, s. 301-309.

[5] Leris M.H.: Essais de simulation de la fissuzation par toche ovale. Journess Francaises du Rail. Paris 1970.

[6] Vibrating roller vig is centrepicce at Pueblo. Railway Gazette International, 1975, nr 9.

[7] Piotrowaski J.: Zagadnienia modelowania obciążeń kontaktowych kół i szyn. Materiały Konferencji. Spała 1987.

[8] Bogdanov A.F.: Eksploatacja i remont koljesnych par vagonov. Transport, 1985.

[9] Althammer K.: Die Versuchsanlage Rollprüfstand in München - Freimann. Elektrische Bahnen, 1978, nr 10.

[10] Sobczak M.: Badania i modelowanie fizyczne pojazdów szynowych. Trakcja i wagony, 1987, nr 9.

[11] Jakovllev B.F.: Eksperimentalnoje opredelenie pleca trjenija kaczenija. Trudy LIIŻTa- Leningrad 1964.

[12] Nishida S., Sugine K., Masumoto H.: Develomont of High Speed Rail Testing Machine. Transactiones ISIJ, Vol. 24, 1984.

[13] Piec P.: Influence of chosen agents on the mating of the whiol with a brake and a rail. Technical University of Cracow. Monograph 41. Cracow 1986, pp. 147-156.

[14] Michałowski E.: Praca dyplomowa inżynierska. Politechnika Śląska, Gliwice 1979.

[15] Kolorz J.: Praca dyplomowa magisterska. Politechnika Śląska w Gliwicach, 1988.

[16] Zabory J., Szabo A.: Sines kerek normzet kozi. Konferencia. Miskolc-Vatos, 1987.

[17] Verigo M.F., Kogan A.J.: Vzaimodeistvie puti i podviznogo sostava. Transport, Moskva 1986.

[18] Hauschild W.: Design of a limit cycle controller for the nonlinear wheel rail system. Vehicle system Dynamics. Vol. 10, No 2-3, 1981.

[19] Duffek W., Jaschinski A.: Efficient implementation of whell rail contact mechanics in dynamic curving. Vehicle System Dynamics. Vol. 10, No 2-3, 1981.

[20] Droździel J., Kisielowski J., Zboiński K.: Zjawiska występujące w kontakcie koło-szyna i ich wpływ na dynamikę układu mechanicznego pojazd szynowy-tor. Materiały Konferencji Teoretyczne i doświadczalne podstawy prognozowania trwałości pary koło-szyna. Spała 1987.

Recenzent: Doc. dr inż. Karol REICH

Wpłynęło do Redakcji 7.08.1989 r.

ИССЛЕДОВАНИЯ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПАРЫ КОЛЕСО-РЕЛЬС

Р е з ю м е

Статья является частю работы касающийся метод повышения работоспособности элементов пары системы колесо-рельс. Динамические исследования этой системы являются основными при разработке новых конструкции и их модернизаци. В ведению показано общие принципы исследования и моделирования элементов пары колесо- рельс, а на схеме показано зависимость между теоретическими а натурными исследованиями. Дальше описано выбранные характеристические исследования и катковые стенды.

RESEARCH AND PHISICAL SIMULATION OF ELEMENTS OF PAIR WHEEL-RAIL

S u m m a r y

In the paper the review of applied tests for railway wheel sets is presented. Particularly, field adn stand tests, in which the real is replaced by the rolling wheel is discussed. In the introduction general principles of tests and modelling for elements of the system wheel - rail ave given.