

Adrian Szeszycki

Analiza i ocena wpływu wybranych parametrów kontaktu koła z szyną na stabilność pojazdu szynowego

Analysis and evaluation of the influence of selected wheel-rail contact parameters on the stability of a railway vehicle

STRESZCZENIE

Oddziaływanie koła z szyną stanowi fundament wszystkich rozważań związanych z ruchem pojazdów szynowych. W niniejszej rozprawie skupiono się na analizach problemu stabilności jazdy, na przykładzie szczególnie podatnej na wężykowanie grupy pojazdów dwuosiowych. Przyjęto symulacyjną metodę badawczą, pozwalającą na wykroczenie poza zakres możliwości badań eksperymentalnych standardowo wykonywanych na potrzeby procesu dopuszczenia pojazdów szynowych. W celu wykonania analiz symulacyjnych stabilności zbudowano modele numeryczne trzech pojazdów reprezentatywnych dla badanej grupy. Modele analizowanych pojazdów podlegały walidacji na podstawie dostępnych wyników badań jezdnych na torze prostym. W tym celu skorzystano z techniki operacyjnej analizy modalnej. Porównując parametry modalne podstawowych postaci drgań uzyskanych przy pomocy symulacji i eksperymentu, wykazano przydatność modeli do dalszych badań.

Z całej złożoności modelu numerycznego układu pojazdu szynowego z torem najwięcej uwagi poświęcono modelowaniu zjawiska kontaktu koła i szyny. Przeprowadzono dogłębną analizę najpopularniejszych w oprogramowaniu MBS metod obliczania sił kontaktu koła i szyny. Na potrzeby badań, w modelach numerycznych zaimplementowano metodę CONTACT uznawaną za dokładną. Za pomocą opracowanej procedury badań symulacyjnych stabilności, obejmującą serię symulacji dla szerokiego zakresu warunków kontaktu koła z szyną, dokonano oceny wpływu parametrów geometrycznych na stabilność pojazdów szynowych badanej grupy. Analizy obejmowały przypadki zarówno nominalnych, jak i zmierzonych (rzeczywistych) profili kół i szyn, dzięki czemu zbadano szeroki zakres stożkowatości ekwiwalentnej. Wykazano kluczowy wpływ geometrii styku na otrzymywane wyniki, jednak również występowanie przypadków o trudno przewidywalnych wynikach na podstawie samego opisu geometrii styku standardowymi parametrami.

Na potrzeby badań nad modelami kontaktu koła i szyny wytypowano trzy metody uproszczone w tym dwie standardowo dostępne w środowisku Simpack 2024. Dla zaproponowanej procedury badań stabilności uzyskano wyniki dla metod uproszczonych, które odnoszono do wyników symulacji przy pomocy metody referencyjnej CONTACT. Pozwoliło to na wyciągnięcie wniosków rekomendujących stosowanie możliwie najdokładniejszej metody obliczania sił kontaktowych na potrzeby analiz stabilności.

Z uwagi na występowanie przykładów o odmiennych wynikach symulacji dla metody referencyjnej oraz uproszczonego rozwiązania zagadnienia stycznego metodą FASTSIM (zaadaptowaną do nieeliptycznych obszarów styku), zaproponowano nową metodę uproszczonego rozwiązania zagadnienia stycznego kontaktu koła z szyną w warunkach niehertzowskich. Przy pomocy metody offline, dla warunków kontaktu otrzymanych podczas symulacji stabilności, wykazano wysoką zbieżność wyników wyznaczonych przy pomocy zaproponowanego algorytmu FasTang i referencyjnego programu CONTACT.

SUMMARY

The wheel-rail interaction is the foundation of all considerations related to the dynamics of railway vehicles. The dissertation focuses on the analysis of the stability problem of railway vehicles, using as a case study a group of two-axle vehicles particularly prone to hunting oscillations. A simulation-based research method was adopted, which allows for overcoming the limitations of experimental research typically conducted for the certification process of railway vehicles. In order to perform stability simulations, numerical models of three vehicles representative of the studied group were developed. The models of the analysed vehicles were validated based on available test results from runs on a straight track. The operational modal analysis technique was used for this purpose. By comparing the modal parameters of the characteristic modes obtained through simulations and experiments, the relevance of the models for further studies was demonstrated.

Among the complexities of the numerical model of the railway vehicle-track system, the most attention was given to modelling of the wheel-rail contact phenomena. A thorough analysis of the most popular methods for calculating wheel-rail contact forces in MBS software was conducted. For the research, the method considered exact CONTACT, was implemented in the numerical models. Using the developed procedure for stability simulations, which included a series of simulations for a wide range of wheel-rail contact conditions, the influence of geometric parameters on the stability of the vehicles of the studied group was assessed. The analysis covered both nominal and measured (actual) wheel and rail profiles, allowing for the investigation of a wide range of equivalent conicity. The crucial impact of contact geometry on the obtained results was demonstrated, as well as the occurrence of cases with unpredictable results based solely on the description of the contact geometry using standard parameters.

For the studies on the wheel-rail contact models, three simplified methods were selected, including two methods default available in Simpack 2024. For the proposed stability research procedure, results for the simplified methods were compared to those obtained using the CONTACT reference method. This comparison allowed for drawing conclusions recommending the use of the possible most accurate method for calculating contact forces for stability analysis.

Due to the occurrence of cases with divergent simulation results for the reference method and the simplified solution of the tangential contact problem using the FASTSIM method (adapted to non-elliptical contact areas), a new method was proposed for the simplified solution of the tangential wheel-rail contact problem in non-Hertzian conditions. Using the offline method for the contact conditions obtained during stability simulations, a high convergence of results calculated with the proposed FasTang algorithm and the reference CONTACT program was demonstrated.