

Jerzy LAMEK

Politechnika Gdańska

WSTĘPNA ANALIZA DYNAMIKI WYBRANYCH ELEMENTÓW NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ Z ZASTOSOWANIEM MES

Komunikat

Streszczenie. Rozpatrzono wstępne możliwości analizy dynamiki wybranych elementów nawierzchni z zastosowaniem modelowania matematycznego w ujęciu MES. Przedmiotem zainteresowania są elementy konstrukcji rozjazdu (krzyżownica, zwrotnica i kierownica).

1. WSTEP

Jednym z najsłabszych miejsc nawierzchni kolejowej są rozjazdy, którym odpowiada największa podatność na wykolejenie (ok. 9) [2]. Podatność ta - dla przykładu - jest 19,6 raza większa niż na torach prostych.

Rozjazdy kolejowe należą do złożonych układów mechanicznych (system, w którym występują procesy dynamiczne), których wewnętrzną strukturę (powiązania współpracujących ze sobą elementów) wyraża się poprzez geometrię i liczbę stopni swobody. Układy te poddane są cyklicznym, zewnętrznym wymuszeniom siłowym (oddziaływania dynamiczne pochodzące od kół pojazdów) oraz wymuszeniom termicznym (siły termiczne przekazywane przez przylegające tory bezetykowe).

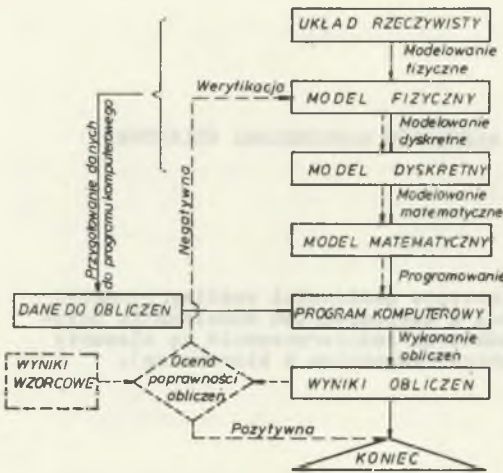
Badanie zjawisk dynamicznych rozjazdu wykonuje się z reguły w myślowo wyodrębnionych podukładach (krzyżownica, kierownica, zwrotnica) w celu ograniczenia liczby stopni swobody i uproszczenia struktury modelu.

Analiza dynamiki podzespołów rozjazdu (podukłady) jest uprawiana i rozwijana z myślą o doskonaleniu trwałości i niezawodności elementów wchodzących w skład rozjazdu, zwiększeniu bezpieczeństwa i polepszeniu spokoju jazdy oraz zmniejszeniu wzajemnych oddziaływań dynamicznych zachodzących pomiędzy kołem a szyną [1, 3, 4, 5, 9, 10].

2. MODELOWANIE UKŁADÓW RZECZYWISTYCH

Badanie zjawisk dynamicznych można realizować teoretycznie i eksperymentalnie (doświadczalnie).

Badania teoretyczne przy znacznej złożoności problemu z reguły odwołują się do metod komputerowych. W związku z tym badanie właściwości dynamicznych układów rzeczywistych przebiega w następujących etapach (rys. 1) [7]:



Rys. 1. Schemat badania właściwości dynamicznych układu rzeczywistego
Fig. 1. Block diagram of a dynamical testing an actual system

- 1) modelowanie fizyczne,
- 2) modelowanie dyskretne,
- 3) modelowanie matematyczne,
- 4) programowanie,
- 5) przygotowanie danych do obliczeń,
- 6) wykonanie obliczeń na komputerze,
- 7) weryfikacja przyjętego modelu.

Badania doświadczalne przeprowadza się w warunkach rzeczywistych lub w warunkach stworzonych sztucznie przez eksperymentatora. Badania takie wymagają w większości przypadków znacznych nakładów finansowych, zwłaszcza przy różnicowaniu określonych parametrów wpływających istotnie na dynamikę analizowanego obiektu, jak również interpretacja uzyskanych wyników jest bardzo złożona

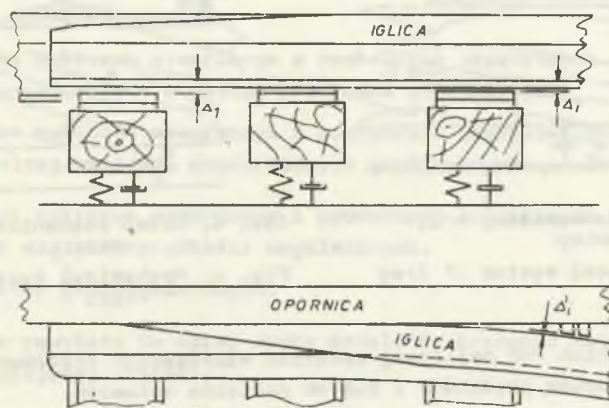
i często wymaga skomplikowanej aparatury. Wad tych nie mają metody komputerowej analizy właściwości dynamiki układu. Metody te pozwalają na dowolne (w sposób ciągły) zmiany wielkości wejściowych (charakterystyki materiałowe, właściwości elementów sprzężysto-tłumiących, trajektorie ruchu, prędkość pojazdu itp.), a uzyskane wyniki są z reguły proste w interpretacji. Natomiast problemem zasadniczym w badaniach teoretycznych jest identyfikacja przyjętego modelu z obiektem rzeczywistym. Stąd najsłuszniejszy wydaje się pogląd [6, 7], według którego analiza dynamiki dowolnego układu rzeczywistego możliwie najszerzej powinna być realizowana z zastosowaniem metod komputerowych, a jedynie wybrane fragmenty tych badań powinny być potwierdzone badaniami doświadczalnymi.

3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

W związku z poszukiwaniem najoptymalniejszych rozwiązań konstrukcji rozjazdu uważa się za celowe rozwiązanie niektórych zagadnień w ramach analizy dynamiki wyodrębnionych podukładów w rozjeździe.

3.1. Zwrotnica

Stan naprężeń oraz gęstość widmowa drgań części ruchowej zwrotnicy - którą jest iglica - zależy nie tylko od nacisków osiowych i prędkości poruszającego się po niej pojazdu [5], ale również od dokładności przylegania stopki iglicy do siodełek podiglicowych i szyjki iglicy do opórek (rys. 2).



Rys. 2. Układ mechaniczny zwrotnicy

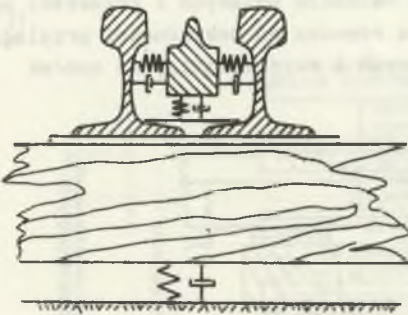
Fig. 2. Mechanical system of switch

Obecnie brak jest jakichkolwiek racjonalnych ustaleń w tym zakresie. Opracowanie algorytmu na obliczenie drgań iglicy pozwoli na symulowanie wpływu dokładności przylegania na wielkość naprężeń w iglicy oraz drgań rezonansowych.

3.2. Krzyżownica

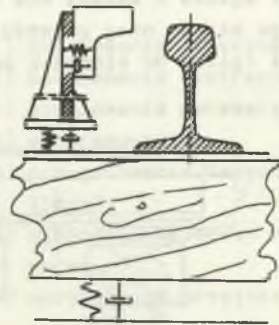
Badania krzyżownic charakteryzujących się zwiększoną trwałością na zużycie (patrz referat na temat zużycia krzyżownic i iglic) wykazały, że najbardziej podatny na zużycie jest dziób krzyżownicy. Obróbka cieplna krzyżownic powoduje, że żywotność szyn skrzydłowych wzrasta 3-4-krotnie, a dziobów 2-krotnie (w stosunku do krzyżownic niehartowanych, wykonanych ze stali St 72P). Natomiast stosowanie stali manganowej zwiększa żywotność szyn skrzydłowych 5-krotnie, a dziobów tylko 2-krotnie.

Ze względu na właściwości przechodzenia zestawu kołowego przez krzyżownicę zbliżenie trwałości tych dwóch podstawowych elementów krzyżownicy możliwe jest w zasadzie tylko poprzez zmianę konstrukcji krzyżownicy. Zastosowanie ruchomych dziobów jest nierealne w najbliższych latach, w związku z tym rozpatruje się możliwość skonstruowania krzyżownicy z dodatkowo usprężynowanym dziobem (rys. 3) [8]. Krzyżownica tej konstrukcji



Rys. 3. Układ mechaniczny krzyżownicy

- Fig. 3. Mechanical system of frog



Rys. 4. Układ mechaniczny kierownicy

Fig. 4. Mechanical system of guard rail

mogłaby w warunkach PKP najlepiej spełniać właściwości krzyżownic przeznaczonych do dużych prędkości i dużych nacisków osiowych.

3.3. Kierownica

Najczęstszym uszkodzeniem w kierownicach są koziołki. Z uwagi na dobre rozpoznanie postaci zewnętrznych oddziaływań dynamicznych na kierownicę [4, 10] podjęto próbę opracowania algorytmu na wyznaczenie postaci drgań i naprężeń tego podukładu w celu zaproponowania optymalnego profilu koziołka mocującego listwę kierownicy. Rozważana jest możliwość dodatkowego usprężynowania kierownicy (rys. 4) w korelacji z usprężynowanym dziobem.

Weryfikację opracowywanych algorytmów zamierza się przeprowadzić doświadczalnie poprzez rejestrację niektórych parametrów fizycznych wymienionych podukładów rzeczywistych rozjazdu w przyjętych przekrojach pomiaru.

4. WYBÓR MODELU MATEMATYCZNEGO

Modelem matematycznym nazywa się równania opisujące ruch modelu fizycznego. Modele fizyczne składają się zwykle z elementów, których parametry rozłożone są w sposób ciągły. Równania opisujące ruch takich modeli są cząstkowymi równaniami różniczkowymi. Rozwiązanie tych równań metodami komputerowymi jest bardzo trudne, a często niemożliwe. Dlatego ciągły model fizyczny zastępuje się modelem dyskretnym (parametry jego mają charakter skupiony). Równania opisujące ruch modeli dyskretnych są równaniami różniczkowymi zwyczajnymi.

Do dyskretyzacji rozpatrywanych układów (ciągłych) przyjęto najbardziej uniwersalną i rozpowszechnioną metodę elementów skończonych (MES), opartą na metodzie energetycznej, w której do opisu ruchu układu zastosowano równania Lagrange'a II rodzaju [6, 7]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{u}} \right) + \frac{\partial U}{\partial u} + \frac{\partial R}{\partial \dot{u}} = f,$$

gdzie:

$\frac{\partial T}{\partial \dot{u}}$ - jest wektorem utworzonym z pochodnych cząstkowych energii kinetycznej układu względem prędkości uogólnionych,

$\frac{\partial U}{\partial u}$ - jest wektorem utworzonym z pochodnych cząstkowych energii potencjalnej względem współrzędnych uogólnionych,

$\frac{\partial R}{\partial \dot{u}}$ - jest wektorem utworzonym z pochodnych cząstkowych funkcji dyseypcji względem prędkości uogólnionych,

f - wektor sił uogólnionych.

Równanie powyższe do opisu ruchu modelu dyskretnego najczęściej podaje się w następującej postaci:

$$\left[\begin{array}{c|c} M & M'' \\ \hline M''^T & M' \end{array} \right] \begin{bmatrix} \ddot{u} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} + \left[\begin{array}{c|c} L & L'' \\ \hline L''^T & L' \end{array} \right] \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{z} \end{bmatrix} + \left[\begin{array}{c|c} K & K'' \\ \hline K''^T & K' \end{array} \right] \begin{bmatrix} u \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p \\ r \end{bmatrix},$$

gdzie:

M, L, K - macierze bezwładności, tłumienia i sztywności podukładu o danym obciążeniu,

M', L', K' - macierze bezwładności, tłumienia i sztywności podukładu o danym ruchu,

M'', L'', K'' - macierze bezwładności, tłumienia i sztywności połączeń podukładu o danym ruchu z podukładem o danym obciążeniu,

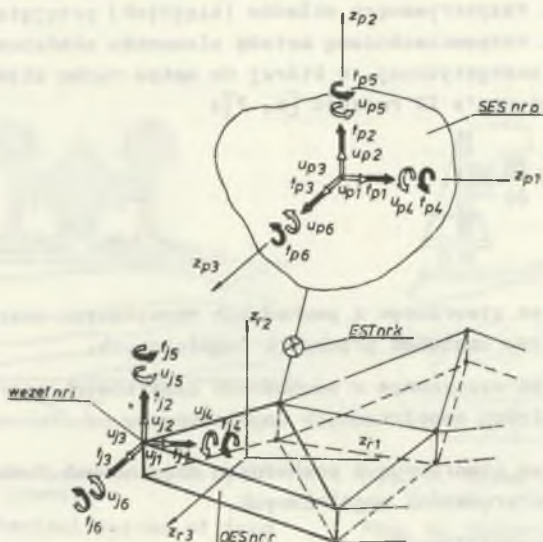
u - wektor nieznanych przemieszczeń uogólnionych,

z - wektor danych przemieszczeń uogólnionych,

p - wektor danych sił uogólnionych,

r - wektor nieznanych reakcji.

Model obliczeniowy (dyskretny) w metodzie MES może składać się zarówno ze sztywnych (SES), jak i odkształcalnych elementów skończonych (OES) - rys. 5. Sztywne elementy skończone połączone są ze sobą oraz z elementami odkształcalnymi elementami sprężysto-tłumiącymi (EST), natomiast odkształcalne elementy skończone połączone są między sobą w węzłach.



Rys. 5. Model obliczeniowy złożony z SES i OES połączonych za pomocą EST. Strzałkami białymi oznaczono współrzędne uogólnione, czarnymi - siły uogólnione

Fig. 5. Computational model composed of rigid finite element and deformation finite element connected with elastic-damping element

Dyskretyzacja układu tylko na SES powoduje znaczne ograniczenie liczby stopni swobody. W związku z tym struktura podziału modelu na SES i OES istotnie wpływa na algorytmizację układu.

LITERATURA

- [1] Amelin S.W., Danilenko E.J.: Konstruowanie żelaznodoroznych cel-nolitych krestowin s ucetom procznosti. Wiestnik VNIIZT 1977, nr 8.
- [2] Bałuch H.: Problemy zużycia i niezawodności pary koło-szyna w eksploatacji kolei. Konf. Szkoła, Teoret. i doświad. podstawy prognoz. trwałości pary koło-szyna. Spała, czerwiec 1987.
- [3] Głujberg B.E.: Issledowanie wozdziejtwij kolez podwiżnogo sostawa na krestowiny strelocznyh pieriewodow. Wiestnik VNIIZT 1977, nr 2.
- [4] Głujberg B.E.: Napriazhennoje sostojanie i osobiennosti raboty kontrolsew strelocznyh perewodow. Wiestnik VNIIZT 1985, nr 6.
- [5] Głujberg B.E., Teitel A.M., Donec V.G., Żwensen W.S.: Opriedele-nije vertikalnyh dinamiczeskich sił wozdziejtwija na ostriaki strelocznyh pieriewodow. Wiestnik VNIIZT 1981, nr 5.
- [6] Praca zbiorowa: Metoda sztywnych elementów skończonych. Arkady, Warszawa 1975.
- [7] Praca zbiorowa: Metoda elementów skończonych w dynamice konstrukcji Arkady, Warszawa 1984.

- [8] Rozjazdy na wystawie we Frankfurcie nad Menem. Drogi Kolej. 1987, nr 7.
- [9] Sauvage R., Larible G.: La modelisation par "elements finis" des couches d'assise de la voie ferres. Rev. gen. chemins fer. 1982, nr 9.
- [10] Sato Y., Miura S., Hashimoto S., Sato Y.: Characteristics of lateral force acting at guard rail on turnout. Quarterly Rep. 1988, nr 2.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Kazimierz Kłosek

Wpłynęło do Redakcji 5.05.1991 r.

A DYNAMICS ANALYSIS OF SELECTING ELEMENTS OF A PERMANENT WAY WITH APPLICATION OF THE FINITE ELEMENT METHODS

Summary

It is considered initially possibilities a dynamics analysis of selecting elements of a permanent way with application of mathematical modelling of an idea finite element methods. An interesting subject there are elements of a construction turnout (a frog, a switch and a guard rail).

АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ВЫБРАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕРХНЕВО СТРОЕНИЯ ПУТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕС

Резюме

Рассмотрено здесь предварительные возможности анализа динамики выбранных элементов верхнево строения пути с применением в математическом моделировании МЕС (метода конечных элементов). Предметом увлечения является элементы конструкции стрелочного перевода (крестовина, стрелка, контррельс).