

Piotr LESIAK

Institut Automatyki i Elektroniki Transportu  
Wyższa Szkoła Inżynierska w Radomiu

## SYMULACYJNE BADANIA MODELI WAD DLA CELÓW DEFEKTOSKOPII ULTRADŹWIĘKOWEJ SZYN

**Streszczenie.** W pracy omówiono akustyczne modele wybranych typów wad występujących w szynach kolejowych, poddano je symulacyjnym badaniem komputerowym oraz przeanalizowano pod kątem zautomatyzowanych badań ultradźwiękowych.

### 1. WSTĘP

Ocena wielkości wad w szynach badanych metodą ultradźwiękową opiera się na porównaniu obrazów wad rzeczywistych z obrazami sztucznych wad o określonych wymiarach i kształtach. Wzorce te stanowią podstawę kalibracji aparatury stosowanej powszechnie do kontroli ręcznej szyn [2]. Jednak w przypadku automatyzacji takich badań z wykorzystaniem wagonu defektoskopowego, tworzenia wzorców z pełną gamą wad sztucznych staje się uciążliwe lub wręcz niemożliwe [8]. Sprawia to odmienny sposób pomiaru i klasyfikacji wad, wynikający z dyskretyzacji szyny na elementarne przekroje, co w efekcie pozwala na uzyskania znacznie większej dokładności pomiaru [7].

Obraz wady zależy nie tylko od jej wymiaru zastępczego (średnicy, długości), ale też od charakteru powierzchni odbijającej [1, 4, 6]. Dlatego też dla prawidłowej interpretacji badań szczególnie zautomatyzowanych, niezbędna jest znajomość charakterystyk typowych wad występujących w szynach. Wygodnie posłużyć się w tym przypadku symulacją komputerową, która pozwala na ilościową analizę zagadnienia.

W artykule ograniczono się do problemów wad poprzecznych, a więc wykrywanych głowicami kątowymi. Złożoność i nierównomierność ich powierzchni, skłania do rozpatrywania elementarnych małych powierzchni, z których tworzy się metodą superpozycji wady rzeczywiste. Większość z tych wad cechuje się szybkim rozwojem, szczególnie w obszarze główki szyny, powodując jej złamanie [2, 3]. Dlatego też rozpatrzono charakterystyczne dla badań ultradźwiękowych reflektory odbijające, tj. otwór płaskodenny i powierzchnię cylindryczną.

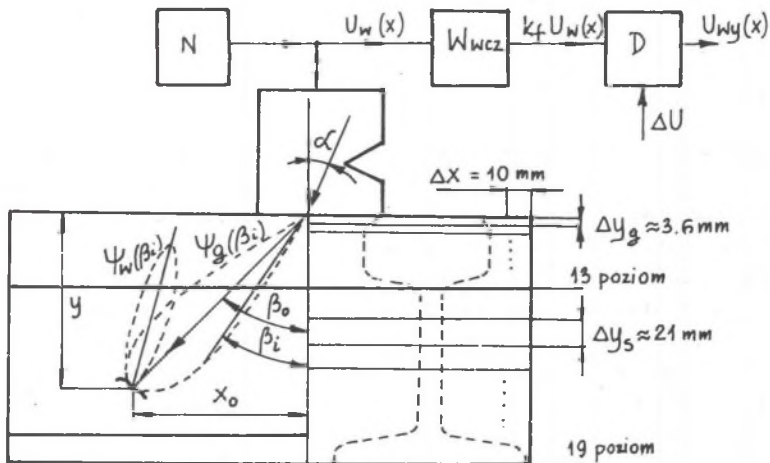
## 2. PODSTAWY TEORETYCZNE BADAŃ SYMULACYJNYCH

W zautomatyzowanych badaniach szyn, przesuwające się wzdłuż osi  $x$  po powierzchni tocznej głowicy głowice, podłączone dla części nadawczo-odbiorczej defektoskopu (rys. 1), rejestrują wady w postaci obwiedni sygnału napięciowego o amplitudzie  $U_{wy}(x)$  równej:

$$U_{wy}(x) = k_f U_w(x) - \Delta U \quad (1)$$

gdzie:

- $U_w(x)$  - amplituda sygnału echa na wejściu odbiornika defektoskopu,
- $k_f$  - regulowane wzmocnienie wzmacniacza w.cz. defektoskopu,
- $\Delta U$  - napięcie podcięcia sygnału.



Rys. 1. Ilustracja sposobu badania szyny głowicą kątową

N - nadajnik defektoskopu,  $W_{wcz}$  - wzmacniacz wielkiej częstotliwości, D - detektor amplitudy

Fig. 1. Investigation method of rail using angle probe

N - flow detector transmitter,  $W_{wcz}$  - high frequency amplifier, D - amplitude detector

Wielkość napięcia  $U_w(x)$  zależy zarówno od funkcji opisującej charakterystykę kierunkową głowicy  $\psi_g(\beta_i)$  (rozkład ciśnienia fali) jak i funkcji charakteryzującej zdolność odbicia fali ultradźwiękowej przez wadę  $\psi_w(\beta_i)$ . Dla głowicy kątowej z przetwornikiem kwadratowym, a więc typowym używanym we współczesnych konstrukcjach, kierunkowy rozkład promieniowania opisuje zależność [1, 4, 5]:

$$\psi_g(\beta_1) = \frac{\sin \chi}{\psi} \approx 1 - \frac{\chi^2}{6} \quad (2)$$

gdzie:

$$\chi = \frac{\pi a f}{C_{T2} \sin \alpha} (\sin \beta_1 - \sin \beta_0)$$

$$\sin \beta_1 = \frac{x_0 - x}{r_p}$$

$a$  - długość boku przetwornika,

$f$  - częstotliwość głowicy,

$C_{T2}$  - prędkość fal poprzecznych w materiale badanym (stal szynowa),

$\alpha$  - kąt padania głowicy,

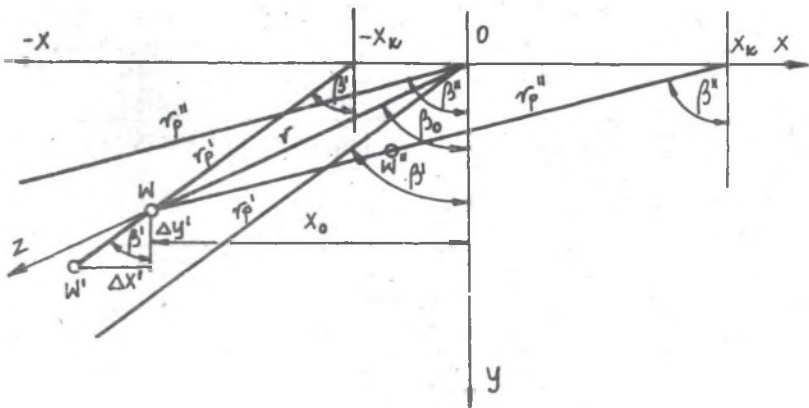
$\beta_1$  - kąt chwilowy głowicy,

$\beta_0$  - kąt załamania głowicy,

$r_p$  - odległość chwilowa głowicy od wady.

W celu wyznaczenia wyrażenia na wielkość echa  $U_w(x)$  elementarnej wady, znajdującej się w odległości  $x$  od punktu  $W$  na osi  $z$  wiązki wysyłanej przez głowicę (rys. 2), wyznaczono rozkład ciśnienia  $P_w(z,x)|_r$  w polu dalekim wiązki fal odbitych od tej wady z wyrażenia:

$$P_w(z,x)|_r = P(z)|_r \psi_g(\beta_1) \psi_w(\beta_1) \quad (3)$$



Rys. 2. Ilustracja sposobu określania położenia wady głowicę kątową  
Fig. 2. Determination method of defect position using angle probe

gdzie:

$P(z)|_r$  - ciśnienie w punkcie W osi z,

$\psi_w(\beta_1)$  - charakterystyka kierunkowa wady.

Zakładając identyczność charakterystyki  $\psi_g(\beta_1)$  dla przypadku nadawania i odbioru, otrzymano:

$$U_w(x) = P(z)|_r P_w(z)|_r \psi_g^2(\beta_1) \psi_w(\beta_1) \quad (4)$$

gdzie:

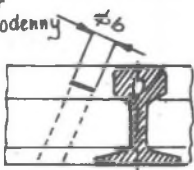
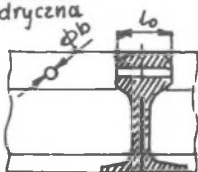
$P_w(z)|_r$  - ciśnienie fali odbitej od wady na osi wiązki z w odległości r.

### 3. MODELE TYPOWYCH WAD

Do badań wybrano modele dwóch typowych reflektorów: otwór płaskodenny i powierzchnię cylindryczną, tablica 1 [1, 6]. Symulują one następujące wady rzeczywiste, i tak:

- otwór płaskodenny to pęknięcia, pęcherze gazowe lub wtrącenia niemetaliczne, wg UIC typ 211.20 i 211.10 [2, 3],
- powierzchnia cylindryczna to wady zmęczeniowe typu 211 i w zgrzeźnach typu 411

Tablica 1

Rodzaj wady	$\psi_w(\beta_1)$
<p>Otwór płaskodenny</p> 	$\frac{\pi D_{lit} (abf)^2}{[2C_{T2} (r_p + r_2)]^2} \frac{\cos \beta_0}{\cos \alpha} \cdot \lambda$
<p>Powierzchnia cylindryczna</p> 	$\frac{D_{lit} L_0 a^2 b \cos \beta_0}{(r_p + r_2)^2 \cos \alpha} \sqrt{\left(\frac{f}{C_{T2}}\right)^3} b \cdot \lambda$

gdzie:

$D_{1t}$  - współczynnik przechodzenia fali ultradźwiękowej przez granicę kontaktu głowica-szyba,

$\mathcal{R}$  -  $-2(\delta_1 r_1 + \delta_t r_p)$  - tłumienie fal ultradźwiękowych,

$\delta_1$  - współczynnik tłumienia fali w głowicy,

$r_1$  - droga fali w głowicy,

$\delta_t$  - współczynnik tłumienia fali w szynie,

$r_2 = \frac{C_{L1} \cos \beta_0}{C_{T2} \cos \alpha} r_1$  - zastępcza droga fali w głowicy,

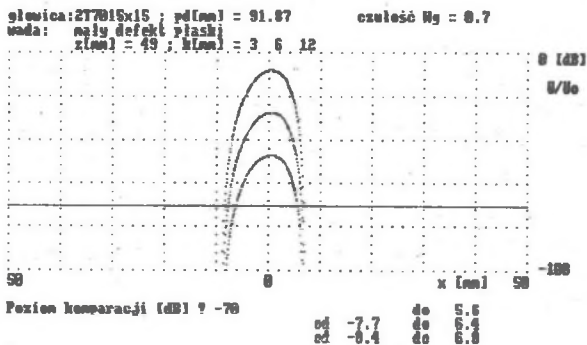
$C_{L1}$  - prędkość fali podłużnej w głowicy.

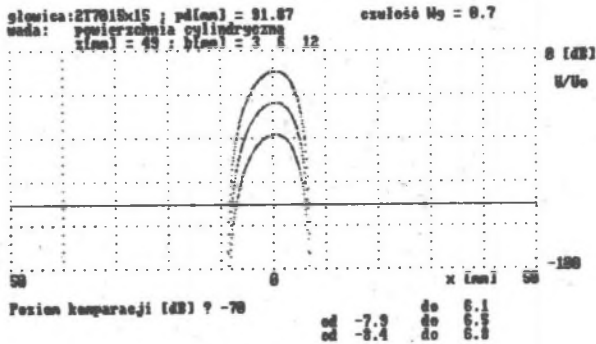
W badaniach zautomatyzowanych wyznaczana jest szerokość obwiedni wady, określona skrajnymi wielkościami  $\pm x_k$  (rys. 2), przy których amplituda echa wady  $U_w(x) \geq U_k$ , gdzie  $U_k$  - poziom komparacji. Porównując amplitudę echa wady dla  $x = x(U_k)$  i  $x = 0$ , przyjmując  $\psi_g(\beta_1)|_{x=0} = 1$  oraz uwzględniając zależność (4), otrzymano:

$$\frac{U_w(x)}{U_w(x=0)} [\text{dB}] = W_g \cdot 20 \lg \frac{\psi_g^2(\beta_1) \psi_w(\beta_1)}{\psi_w(0)} \quad (5)$$

gdzie:  $W_g$  - czułość układu defektoskop-głowica.

Modelując wyrażenie (5) i korzystając z opisów funkcji  $\psi_w(\beta_1)$  zamieszczonych w tabelcy 1, wyznaczono drogą symulacji komputerowej skrajne wartości  $x_k$  dla zadanego proggu napięcia komparacji (rys. 3).





Rys. 3. Przykładowe zmiany amplitudy napięcia echa wad  
 Fig. 3. Example of amplitude change of defect echo voltage signal.

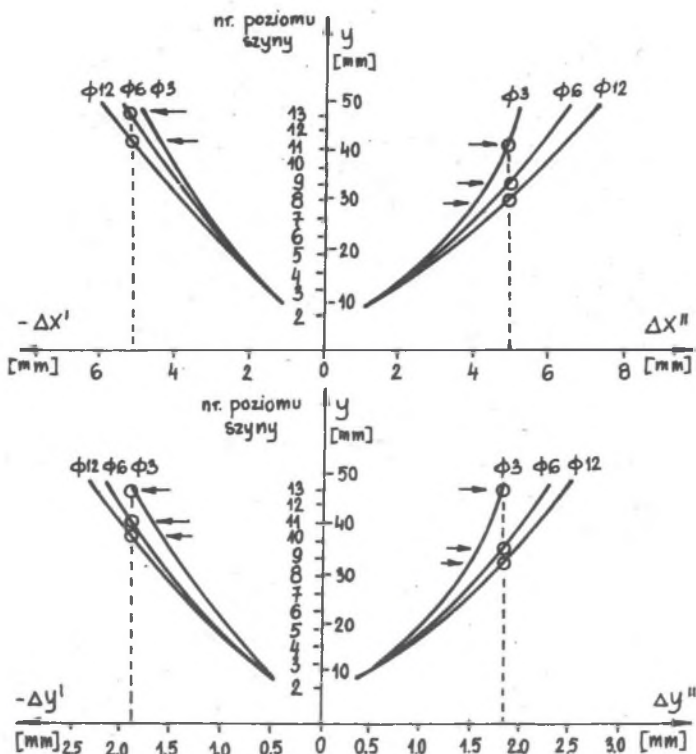
#### 4. ANALIZA WYBRANYCH BADAŃ

Badania symulacyjne wykonano dla głowki szyny, która przy kontroli aparaturą WAD-1 [7, 8], dzielona jest umownie na 13 poziomów  $\Delta U_g$ , natomiast kolejne emisje fali ultradźwiękowej następują z krokiem  $\Delta x$  (rys.1). W utworzonej w ten sposób siatce umieszczono w środkach jej oczek analizowane wady o różnych wymiarach. Na podstawie obliczonych  $\pm x_k$ , wyznaczono przyrosty  $\Delta x'$ ,  $\Delta x''$  oraz  $\Delta y'$ ,  $\Delta y''$  (rys. 2) określające skrajne wymiary wad, a tym samym informujące o możliwości pozornego zwiększenia wymiarów wady (wyjścia poza obręb oczka siatki). Przykład pokazano na rys. 4, dla  $\Delta y_g = 3,6$  mm i  $\Delta x = 10$  mm, co wynika z kąta głowicy  $70^\circ$ .

Na tej podstawie można oszacować maksymalną głębokość (nr poziomu) zalegania elementarnej wady, której wymiary nie zostaną zawyżone, pod warunkiem pełnej symetrii położenia wady w oczku siatki.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika duża zbieżność analizowanych modeli reflektora płaskodennego i powierzchni cylindrycznej. Największą rozbieżność uzyskano dla  $\Phi 3$  z tendencją wzrostu dla niższych poziomów. Np. dla najbardziej niekorzystnego przypadku pokazanego na rys. 3, odpowiednie różnice przyrostów podane w mm wynoszą  $\delta(\Delta x') = 0,51$ ,  $\delta(\Delta x'') = 1,2$ ,  $\delta(\Delta y') = 0,18$  i  $\delta(\Delta y'') = 0,37$ .

Wyniki te ściśle korelują z przyjętym poziomem komparacji napięcia oraz czułością defektoskop-głowica. Wielkości te mogą być ustalone doświadczalnie dla minimalnego wymiaru jednego typu wady wymaganej do wykrycia [8].



Rys. 4. Ilustracja pozornych zmian wymiarów wad płaskodennych w zależności od głębokości ich zalegania w głowce szyny

Fig. 4. Imaginary change of dimensions of flat bottom defects with respect to depth of position in rail head

## 5. WNIOSKI I KIERUNKI DALSZYCH PRAC

Przedstawione badania symulacyjne modeli wad szyn kolejowych powinny być pomocne przy ocenie rozmiarów wad i kalibracji aparatury ultradźwiękowej wykorzystującej skaningową metodę pomiaru wad, jak np. WAD-1 [7].

Rozszerzając modele wad o inne charakterystyczne reflektory, można odwzorować złożone kształty nieciągłości szyn w całym jej obszarze na podstawie metody superpozycji. Pozwoli to na doskonalenie funkcji przetwarzania aparatury w zakresie dokładności pomiaru geometrii wad.

## LITERATURA

- [1] Гурвич А.К., Ермолов И.Н.: Ультразвуковой контроль сварных швов. Техника 1972.
- [2] Chmiel E., Świderski Z.: Defektoskopowe badanie elementów nawierzchni kolejowej. WKiŁ, Warszawa 1978.
- [3] Bałuch H.: Diagnostyka nawierzchni kolejowej. WKiŁ, Warszawa 1978.
- [4] Deputat J.: Badania ultradźwiękowe. Podstawy. IMŻ i ODKKS MN, Gliwice 1979.
- [5] Гурвич А.К., Кузьмина Л.И.: Справочные диаграммы направленности искателей ультразвуковых дефектоскопов. Техника, Киев 1980.
- [6] Справочник под редакцией Клева В.В.: Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Машиностроение, Москва 1986.
- [7] Lesiak P., Karcz A., Wlazło J.: Metoda pomiaru dyskretnego obrazu wad w zautomatyzowanych badaniach ultradźwiękowych szyn kolejowych. Materiały VII Krajowej Konferencji Metrologii i Budowy Aparatury Pomiarowej, Wrocław 1986.
- [8] Lesiak P., Karcz A., Wlazło J.: Badania ultradźwiękowej aparatury wadowej WAD-1 w torze próbnym. Materiały XVII Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących, Częstochowa 1988.

Recenzent: Doc. dr inż. Zdzisław Świderski

Wpłynęło do Redakcji 15.09.1989 r.

СИМУЛЯЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ДЕФЕКТОВ ДЛЯ  
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

Р е з ю м е

В работе созданы акустические модели некоторых типов дефектов железнодорожных рельсов, проведены симуляционные компьютерные исследования моделей и разработан их анализ с точки зрения автоматизированной ультразвуковой дефектоскопии.

SIMULATION TESTS OF DEFECT MODEL FOR ULTRASONIC  
DETECTION OF RAILS

S u m m a r y

The paper deals with acoustic models of chosen types of rail defects. These defects are investigated using simulation method and analyzed with respect to automatic ultrasonic tests.