

Zygmunt Strzyżakowski
Wydział Transportu i Elektroniki
Politechnika Radomska

ZMIANA INTENSYWNOŚCI FALI POWIERZCHNIOWEJ W GRUNCIE OD ŚRODKÓW TRANSPORTU

Streszczenie: W artykule przedstawione są zagadnienia oddziaływania zaburzeń rozprzestrzeniających się w gruncie w tym fal parasejsmicznych (powierzchniowych) pochodzących od środków transportu. Dominującą rolę odgrywają tu fale Rayleigha. Fale te napotykając na przeszkody powierzchniowe w formie różnych defektów płaskiej powierzchni gruntu rozpraszają się na nich. W pracy przeprowadzono analizę parametrów technicznych ekranu i ich wpływ na wartość amplitud fal przenikających przez ekran.

Słowa kluczowe: fala powierzchniowa, drgania, równanie Lamé'go

1. WSTĘP

W pracy [4] przedstawiono oddziaływanie zaburzeń od środków transportu samochodowego na obiekty inżynierskie. Podczas modelowania dynamiki układów transportowych uwzględniono dynamiczne własności pojazdu, jezdni oraz gruntu. W wielu pracach autora zaproponowano modelowanie środków transportu podukładami dyskretnymi o określonej ilości stopni swobody kontaktujących z gruntem na skończonych powierzchniach. W pracy [2] dyskretny układ pojazdu w postaci oscylatora kontaktuje z półprzestrzenią sprężystą na powierzchni kołowej.

Modelem docelowym jest przyjęcie poruszającego się pojazdu po jedno bądź wielowarstwowej jezdni. W półprzestrzeni sprężystej może odbywać się propagacja fal na powierzchni i w warstwie przypowierzchniowej. Najczęściej propagują się fale powierzchniowe Rayleigha równoległe do powierzchni w postaci płaskich fal harmonicznym. W kierunku prostopadłym do kierunku rozchodzenia się fal występują fale Love'a, które zanikają asymptotycznie wraz z głębokością podlegając zjawisku dyspersji.

Fale powierzchniowe napotykając na przeszkody powierzchniowe w formie różnych defektów płaskiej powierzchni gruntu jak rowy, nasypy, ekrany ziemne rozpraszają się na nich (odbijając się, częściowo zaś przenikają za przeszkody. Defekty takie osłabiają padające na nie fale powierzchniowe.

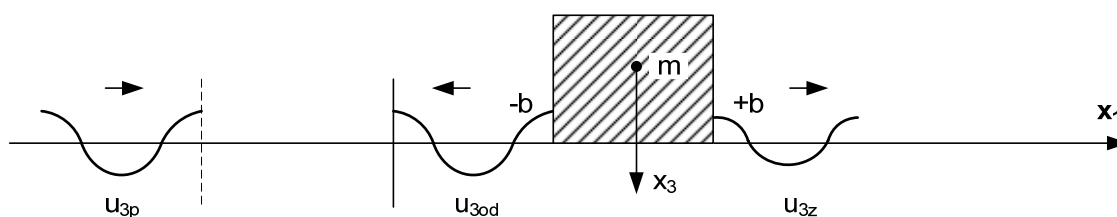
W pracy rozważono zagadnienia rozpraszania danej fali padającej – powierzchniowej, która wymusza pionowy ruch bryły sztywnej kontaktującej z półprzestrzenią na zadanej szerokości.

Propozycja zmiany intensywności fali powierzchniowej dotyczy osłony obiektów inżynierskich przed oddziaływaniem zaburzeń pochodzących od środków transportu i rozprzestrzeniających się w postaci fal powierzchniowych w gruncie.

Obiekt inżynierski – ekran posadowiony na gruncie jest dynamicznym układem dyskretnym lub dyskretno – ciągłym odbierającym energię z fali powierzchniowej przychodzącej od źródła zaburzeń. Można tak dobrać parametry ekranu, że jego częstość drgań będzie bliska lub równa częstości widma wymuszeń o największej intensywności.

2. RÓWNANIA RUCHU UKŁADU

Niech ekran będzie płaską bryłą sztywną o gęstości masy m i szerokości $2b$ jak na rysunku 1.



Rys. 1. Obiekt inżynierski – ekran posadowiony na gruncie

Równanie ruchu pionowego bryły sztywnej w widmie częstotliwościowym ma postać:

$$R(\omega) = m\omega^2 u_3(0, \omega) \quad (1)$$

gdzie R siła reakcji gruntu jako wypadkowa stałego na szerokości $2b$ ciśnienia, ω – częstość

Równania ruchu gruntu mają standardową postać równań Lamé'go

$$a_1^2 \nabla \cdot \nabla \cdot \vec{u} - a_2^2 \nabla \cdot \nabla \cdot \vec{u} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2)$$

gdzie: $\vec{u}(u_1, u_3)$ - wektor przemieszczeń gruntu, natomiast

$$a_1 = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}, \quad a_2 = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

a_1, a_2 - prędkości fazowe fali podłużnej i poprzecznej

λ, μ - stałe sprężystości, ρ - gęstość gruntu

Warunki brzegowe mają następującą postać:

$$\sigma_{x_3, x_3} = \begin{cases} \frac{R(\omega)}{2b}, & -b < x_1 < b \\ 0 & |x_1| > b \end{cases} \quad (3)$$

$$\sigma_{x_1, x_3} = 0$$

Rozwiązanie zagadnienia brzegowego ma postać:

$$u_3(x_1, \omega) = \frac{1}{\mu} \gamma_3(x_1, \omega) R(\omega) \quad (4)$$

gdzie:
$$\gamma_3(x_1, \omega) = \frac{1\omega^2}{2\pi a_2^2 b} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\frac{\sin bk}{k} \sqrt{k^2 - \frac{\omega^2}{a_1^2}} e^{-ikx_1} dk}{4k^2 \sqrt{\left(k^2 - \frac{\omega^2}{a_1^2}\right) \left(k^2 - \frac{\omega^2}{a_2^2}\right) - \left(2k^2 - \frac{\omega^2}{a_2^2}\right)^2}}$$

Eliminując z równań (3) i (4) reakcje R otrzymamy dla $x_1 < -b$

$$u_3(x_1, \omega) = \frac{1}{\mu} \frac{\gamma_3(x_1, \omega) m \omega^2}{1 - \frac{m \omega^2}{\mu} \gamma_3(0, \omega)} u_{3p}(0, \omega) + u_{3p}(x_1, \omega) \quad (5)$$

oraz dla $x_1 > b$

$$u_3(x_1, \omega) = \frac{1}{\mu} \frac{\gamma_3(x_1, \omega) m \omega^2}{1 - \frac{m \omega^2}{\mu} \gamma_3(0, \omega)} u_{3p}(0, \omega) \quad (6)$$

gdzie γ_3 - transmitancja półprzestrzeni sprężystej obciążonej stałym ciśnieniem na szerokości $2b$ wynosi dla $|x_1| > b$

$$\gamma_3(x_1, \omega) = \frac{-a_1 a_R}{b \omega} i \alpha_1 \sin \frac{\omega b}{a_1 a_R} e^{-i \frac{\omega b}{a_1 a_R} |x_1|} \quad (7)$$

oraz dla $x_1 = 0$

$$\gamma_3(0, \omega) = \frac{a_1 a_R}{b \omega} \left(\alpha_1 e^{-i \frac{\omega b}{a_1 a_R}} + i \alpha_2 \right) \quad (7)$$

gdzie:

$$\alpha_1 = \frac{c^2 (2 - c^2 a_R^2)^2 \sqrt{1 - a_R^2}}{16(c^2 - 1) - 8c^6 a_R^4 + 2c^8 a_R^6}$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{c^2 a_R^2}, \quad c = \frac{a_1}{a_2}$$

natomiast a_R - prędkość fazowa fali powierzchniowej jest pierwiastkiem równania:

$$4\sqrt{(1 - a_R^2)(1 - c^2 a_R^2)} = (2 - c^2 a_R^2)^2$$

Wprowadzając oznaczenia bezwymiarowe

$$\beta = \frac{m}{\mu} \frac{a_1^2 a_R^2}{b^2}, \quad \dot{z} = \omega \frac{b}{a_1 a_R}$$

stosunek amplitudy fali przychodzącej od ekranu do fali padającej wynosi

$$\alpha = \frac{u_3(x_1, \omega)}{u_{3p}(0, \omega)} = -i \frac{\beta \dot{z} \alpha_1 \sin \dot{z} e^{-i \dot{z} x_1}}{1 - \beta \dot{z} (\alpha_1 e^{-i \dot{z}} + i \alpha_2)} \quad (8)$$

Moduł stosunku powyższych amplitud wynosi:

$$|\alpha| = \frac{\beta \dot{z} \alpha_1 |\sin \dot{z}|}{\sqrt{1 + \beta^2 \alpha_1^2 \dot{z}^2 + \alpha_2^2 + 2\beta \dot{z} \alpha_1 \alpha_2 \sin \dot{z} - \cos \dot{z}}} \quad (9)$$

Zmniejszenie intensywności drgań w podłożu $|\alpha|$ zależy będzie od parametrów zaprojektowanego ekranu m , b oraz częstotliwości wymuszeń fali padającej.

3. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

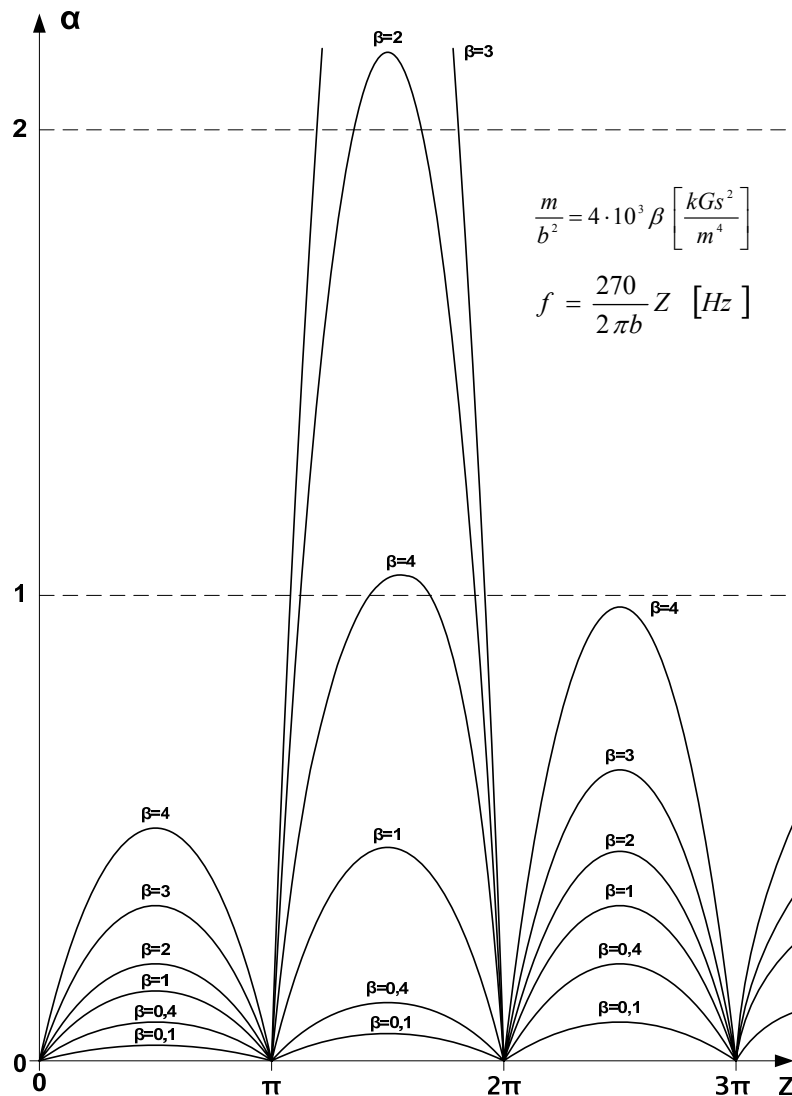
Poniżej podano obliczenie stosunku amplitudy fali za ekranu do amplitudy fali padającej dla następujących parametrów gruntu:

$$a_1 = 1000 \frac{m}{s}, \quad a_2 = 333 \frac{m}{s}, \quad \mu = 243 \text{ MPa}$$

Dla powyższych danych $c = 3$; $a_R = 0,27$; $\alpha_1 = 0,1$; $\alpha_2 = 1$ i parametr β wynosi:

$$\beta = 4 \cdot 10^{-3} \frac{m}{b^2}$$

Na rysunku 2 przedstawiono zależność intensywności drgań $\alpha = \alpha(z, \beta)$



Rys. 2. Stosunek amplitud fal padającej i przenikającej przez ekran

4. PODSUMOWANIE

Analizując wykres można stwierdzić, że:

- amplituda fali przenikającej za ekranem jest quasi okresową funkcją częstości fali padającej,
- graniczną wartością stosunku amplitud α jest wartość 1, dla bardzo dużych wartości częstości ω , co wynika ze wzoru (9),
- ekran o masie bieżącej m i szerokości podstawy $2b$ spełnia więc rolę filtra pasmowego względem padającej na niego fali powierzchniowej,
- istotny wpływ na wartość amplitud fali przenikającej ekran ma parametr β , czyli stosunek wartości masy bieżącej ekranu i kwadratu półszerokości kontaktu $\left(\frac{m}{b^2} = 4 \cdot 10^3 \beta\right)$,
- dla małych wartości β (małe lub duże b), maksymalna ze względu na ω amplituda fali przenikającej jest wielokrotnie mniejsza od amplitudy fali padającej ($\alpha \ll 1$),
- ze wzrostem wartości β (rośnie lub maleje b) w pewnym zakresie częstości pojawia się mod (stan własny), który świadczy o „dostrojeniu” oscylatora – ekranu do częstości fali padającej, w wyniku otrzymujemy w tym zakresie częstości wielokrotny wzrost amplitudy fali przenikającej w stosunku do amplitudy fali padającej – ekran przechwytywa energię fali,
- poczynając od pewnej granicznej wartości β w przybliżeniu tutaj 3, następuje gwałtowne malenie amplitud w zakresie rezonansowym, jak i systematyczny wzrost w pozostałych zakresach.

Bibliografia

1. Rucker W.: Dynamic behavior of rigid foundation of arbitrary shape on a half- space. ESSD, vol 10. 1992.
2. Strzyżakowski Z.: Dynamika układu mechanicznego pojazd - tor – otoczenie modelowanego układem dyskretno – cyfrowym. Prace Instytutu Transportu Politechniki Warszawskiej. 1992.
3. Strzyżakowski Z.: Interaction of discrete system and a visco – elastic half – space. VIII Theoretical Foundations of Civil Engineering. Warsaw 2000.
4. Strzyżakowski Z.: Oddziaływanie zaburzeń środków transportu samochodowego na obiekty inżynierskie. PTSK. Symulacja w Badaniach i Rozwoju. Kraków 2004.

CHANGE IN THE INTENSITY OF SURFACE WAVE IN THE GROUND WITH TRANSPORT

Summary: [The paper covers] the issue of influence of disturbances propagating in the ground including para-seismic waves from means of transport (surface waves) in case of which Rayleigh waves are of predominant importance. Surface waves meeting obstacles such as defects of the flat surface of the ground disperse on them. The paper contain the analysis of the shield technical parameters and their influence on amplitudes value of waves that penetrate the shield.

Keywords: surface wave, vibrations, the Lamé equation