

PORÓWNANIE WPŁYWU WYBRANYCH PARAMETRÓW CIĄGNIKA ROLNICZEGO NA JEGO DRGANIA

Zbigniew Dworecki, Andrzej Fiszer, Mariusz Łoboda, Jacek Przybył
Instytut Inżynierii Rolniczej, Akademia Rolnicza w Poznaniu

Streszczenie. Drgania ciągnika, szczególnie te o niskich częstotliwościach, negatywnie oddziałują na organy ciała ludzkiego. Częstotliwości drgań ciągnika rolniczego zależą, między innymi, od jego masy, masowych momentów bezwładności, położenia środka ciężkości ciągnika oraz sztywności jego opon. W pracy porównano wpływ tych parametrów ciągnika na jego drgania własne. Dla przykładowego ciągnika obliczono wartości liczbowe wrażliwości względnych znormalizowanych częstości drgań własnych na zmianę tych parametrów. Pozwoliło to na porównanie siły wpływu tych parametrów na poszczególne częstości własne.

Słowa kluczowe: drgania ciągnika, częstość drgań, wrażliwość względna

Wstęp

Drgania ciągnika rolniczego mogą być przyczyną uszkodzeń organów ludzkich. Drgania te są złożeniem drgań własnych. Szczególnie szkodliwe są drgania o niskich częstotliwościach. Aby zmienić częstotliwości drgań własnych, konieczne jest poznanie od czego one zależą i jak silna jest ta zależność. Drgania własne ciągnika zależą od jego parametrów. W pracy Dworeckiego [2003] przedstawiono modele matematyczne ciągnika rolniczego w płaszczyźnie bocznej (1, 2) i czołowej (3, 4) umożliwiające obliczenie pierwszych, najniższych częstości własnych drgań.

$$\omega_{1,2b} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{k_1 l^2 + k_2 (a-l)^2}{J_b} + \frac{k_1 + k_2}{m} \right) \mp \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{k_1 l^2 + k_2 (a-l)^2}{J_b} - \frac{k_1 + k_2}{m} \right)^2 + \frac{(k_2 (a-l) - k_1 l)^2}{J_b \cdot m}} \quad (1),(2)$$

$$\omega_{1c} = \sqrt{\frac{2k_{1,2}}{m}} \quad (3)$$

$$\omega_{2c} = r \sqrt{\frac{k_{1,2}}{2J_c}} \quad (4)$$

Znaczenie poszczególnych symboli podano w dalszej części pracy.

Drgania te to drgania pionowe, które można obliczyć korzystając z modelu ciągnika w płaszczyźnie bocznej (1) lub czołowej (3). Model w płaszczyźnie bocznej umożliwia dodatkowo obliczenie częstości drgań kołysania przód-tył (2), a model w płaszczyźnie czołowej pozwala na obliczenie częstości wahan na boki (4). W modelach tych występują parametry ciągnika, od których te częstości zależą.

Wpływ wybranych parametrów ciągnika na jego drgania

Analizując cytowane zależności matematyczne łatwo zauważyć, że:

1. Częstość drgań pionowych obliczona z modelu ciągnika w płaszczyźnie bocznej oraz częstości drgań kołysania przód-tył zależą od:
 - masy ciągnika m ,
 - momentu bezwładności ciągnika w płaszczyźnie bocznej J_b ,
 - położenia środka ciężkości ciągnika, wyrażonego w modelu poziomą odległością tego środka od osi kół przednich l ,
 - rozstawu osi ciągnika a ,
 - sumy sztywności opon kół przednich k_1 ,
 - sumy sztywności opon kół tylnych k_2 .
2. Częstość drgań pionowych obliczona z modelu ciągnika w płaszczyźnie czołowej zależy od:
 - masy ciągnika m ,
 - sumy sztywności opony przedniej i tylnej $k_{1,2}$.
3. Częstość wahan na boki zależy od:
 - momentu bezwładności ciągnika w płaszczyźnie czołowej J_c ,
 - rozstawu kół ciągnika r ,
 - sumy sztywności opony przedniej i tylnej $k_{1,2}$.

Dla porównania wpływu parametrów ciągnika na częstości drgań można posłużyć się funkcją wrażliwości względnej znormalizowanej [Dworecki i in. 2001]. W późniejszej pracy Dworeckiego [2003] przedstawiono równania matematyczne umożliwiające obliczenie wrażliwości częstości drgań na masę ciągnika, momenty bezwładności ciągnika w płaszczyźnie bocznej i czołowej oraz na położenie środka ciężkości. W pracy tej przedstawiono konkretne wartości liczbowe tych wrażliwości dla przykładowego ciągnika. Wartości te przytoczono w dalszej części prezentowanej obecnie pracy (tab. 1).

Ostatnia (poprzedzająca obecną) praca Dworeckiego i in. [2007] zawiera formuły matematyczne wrażliwości przedmiotowych częstości na parametry sztywnościowe ciągnika: sumę sztywności opon kół przednich k_1 , sumę sztywności opon kół tylnych k_2 oraz sumę sztywności opony przedniej i tylnej $k_{1,2}$, oraz wrażliwości na sztywność jednej opony przedniej k_p i jednej tylnej k_t . W pracy tej nie przedstawiono wartości liczbowych wrażliwości dla przykładowego ciągnika.

Z pozostałych parametrów łatwo obliczyć z modelu (4), że wrażliwość na rozstaw kół jest stała i wynosi 1. W ciągnikach, w których można zmieniać rozstaw kół, rozstaw ten zależy od rodzaju wykonywanej pracy. Jeśli chodzi o rozstaw osi, to w konkretnym ciągniku rozstawu osi nie możemy zmienić.

Porównanie wpływu wybranych parametrów...

W celu zmiany częstości drgań możemy posłużyć się zmianą sztywności opon (ciśnienie), zmianą masy (dociążanie). Zmiany te będą powodowały zmianę momentów bezwładności ciągnika i zmianę położenia środka ciężkości. Dlatego obliczono wrażliwości względne znormalizowane częstości drgań na sztywność opony przedniej i sztywność opony tylnej. Wrażliwości te porównano z wcześniej obliczonymi wrażliwościami na masę ciągnika, jego momenty bezwładności i położenie środka ciężkości. Obliczeń dokonano dla ciągnika U 1002 o następujących parametrach:

- masa ciągnika $m = 4010$ kg,
- moment bezwładności w płaszczyźnie bocznej $J_b = 3450$ kg \cdot m²,
- moment bezwładności w płaszczyźnie czołowej $J_c = 1074$ kg \cdot m²,
- rozstaw osi $a = 2,385$ m,
- rozstaw kół $r = 1,5$ m,
- pozioma odległość środka ciężkości od osi przedniej $l = 1,554$ m,
- sztywność opony przedniej przy ciśnieniu roboczym $k_p = 419\,095$ N/m,
- sztywność opony tylnej przy ciśnieniu roboczym $k_t = 560\,030$ N/m.

Częstotliwości drgań takiego ciągnika wynoszą:

- pierwsza częstotliwość w płaszczyźnie bocznej (drgania pionowe) $f_{1b} = 3,41$ Hz,
- druga częstotliwość w płaszczyźnie bocznej (kołysanie przód - tył) $f_{2b} = 4,61$ Hz,
- pierwsza częstotliwość w płaszczyźnie czołowej (drgania pionowe) $f_{1c} = 3,51$ Hz,
- druga częstotliwość w płaszczyźnie czołowej (wahanie na boki) $f_{2c} = 5,10$ Hz.

Wyniki obliczeń wrażliwości tych częstotliwości na „sterowalne” parametry ciągnika umieszczono w tabeli.

Tabela 1. Wrażliwości częstości drgań własnych ciągnika na jego parametry
Table 1. Sensitivity of tractor eigenfrequencies to tractor parameters

Parametry	Wrażliwości częstości drgań własnych na parametry			
	f_{1b}	f_{2b}	f_{1c}	f_{2c}
m	-0,46	-0,04	-0,50	0,
J_b	-0,04	-0,46	0	0
J_c	0	0	0	-0,50
l	-0,44	0,44	0	0
k_p	0,06	0,44	0,21	0,21
k_t	0,44	0,02	0,29	0,29

Wrażliwości częstości drgań (wyrażonych w radianach na sekundę) są takie same jak wrażliwości częstotliwości (wyrażonych w hercach), gdyż przemnożenie funkcji przez stałą liczbę (2π) nie powoduje zmiany wrażliwości funkcji na jej parametry.

Zera w tabeli pojawiają się w przypadkach, gdy dana częstotliwość nie zależy od jakiegoś parametru (w matematycznej formule danej częstotliwości nie ma danego parametru).

Analiza wyników obliczeń

Analizując poszczególne częstotliwości można zauważyć, że na pierwszą częstotliwość drgań w płaszczyźnie bocznej (drgania pionowe) duży wpływ ma masa ciągnika, odległość środka ciężkości od osi przedniej oraz sztywność opony tylnej. Ze wzrostem masy i odległości I częstotliwość ta maleje a ze wzrostem sztywności opony tylnej częstotliwość rośnie.

Druga częstotliwość drgań w płaszczyźnie bocznej (kołysanie przód–tył) jest mocno wrażliwa na moment bezwładności ciągnika w tej płaszczyźnie, odległość środka ciężkości od osi przedniej i sztywność opony przedniej. Im większy moment tym częstotliwość ta mniejsza. Zbliżanie się środka ciężkości do osi tylnej powoduje wzrost tej częstotliwości. Do podobnego wzrostu dochodzi wraz ze wzrostem sztywności opony przedniej.

W płaszczyźnie czołowej, pierwsza częstotliwość drgań mocno spada wraz ze wzrostem masy ciągnika a druga częstotliwość wraz ze wzrostem momentu bezwładności. Natomiast wzrost tej częstotliwości następuje wraz ze wzrostem sztywności opony przedniej i tylnej.

Przechodząc do analizy poszczególnych parametrów należy stwierdzić, że masa ciągnika mocno wpływa na drgania pionowe, obliczone na podstawie modeli w płaszczyźnie bocznej jak i czołowej. Wzrost masy powoduje silny spadek tych częstotliwości oraz bardzo mały spadek częstotliwości kołysania przód–tył. Momenty bezwładności ciągnika w odpowiednich płaszczyznach mocno determinują drugie częstotliwości drgań w tych płaszczyznach (kołysanie przód–tył, wahanie na boki). Położenie środka ciężkości tak samo silnie wpływa na pierwszą częstotliwość drgań w płaszczyźnie bocznej jak i na drugą częstotliwość. Kierunek tego wpływu jest jednak różny: wzrost odległości środka ciężkości od osi przedniej powoduje spadek częstotliwości drgań pionowych i wzrost częstotliwości kołysania przód–tył. Sztywności opon mocno wpływają na 3 z 4 analizowanych częstotliwości w ten sposób, że wzrost sztywności opon powoduje wzrost częstotliwości. Sztywność opony przedniej ma niewielki wpływ na drgania pionowe obliczane na podstawie modelu w płaszczyźnie bocznej. W płaszczyźnie tej, sztywność opony tylnej nie ma istotnego wpływu na częstotliwość kołysania przód–tył.

Podsumowanie

Wpływ parametrów ciągnika na jego drgania można określić analizując jego modele matematyczne. Nie można w ten sposób określić siły tego wpływu i porównać pod tym względem różne parametry ciągnika. Dzięki obliczeniu wrażliwości względnej znormalizowanej częstości drgań własnych ciągnika na jego parametry dla konkretnego ciągnika udało się ocenić, które z parametrów mają silniejszy wpływ na poszczególne częstotliwości drgań. Wiedza ta przybliżyła możliwość skuteczniejszej zmiany tych częstotliwości.

Bibliografia

- Dworecki Z., Łoboda M., Krysztofiak A.** 2001. Numeryczna analiza drgań ciągnika rolniczego z wykorzystaniem analizy wrażliwości. Inżynieria Rolnicza nr 11 (31). s. 61-67.
- Dworecki Z.** 2003. Badania drgań ciągnika z zawieszoną maszyną rolniczą w kontekście ich oddziaływania na operatora. Inżynieria Rolnicza nr 5(47). s. 1-96.
- Dworecki Z., Fiszer A., Łoboda M., Przybył J.** 2007. Równania opisujące wpływ sztywności opon na drgania ciągnika rolniczego. Inżynieria Rolnicza 2(90) s. 43-48.

COMPARISON OF TRACTOR PARAMETERS INFLUENCE ON TRACTOR VIBRATIONS

Summary. The tractor vibrations negative effect on tractor driver. The frequency of this vibrations depends tractor eigenfrequencies. These eigenfrequencies depends tractor mass, tractor moments of inertia, position of tractor unit centre of gravity and tyre stiffness. The paper presents comparison of tractor parameters influence on tractor vibrations. The relative standardised sensitivities of eigenfrequencies to tractor parameters was calculated for U 1002 tractor.

Key words: tractor vibrations, frequency of vibration, relative sensitivity

Adres do korespondencji:

Zbigniew Dworecki; e-mail: dworecki@au.poznan.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 50
60-627 Poznań