

Grzegorz Basista, Bogusław Cieślikowski  
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki  
Akademia Rolnicza w Krakowie

## STABILIZACJA PRĘDKOŚCI ROBOCZEJ AGREGATU CIĄGNIKOWEGO ZE WZGLĘDU NA MOMENT TARCIA MECHANIZMU RÓŻNICOWEGO

### Streszczenie

Tematyka publikacji odnosi się do zagadnień niekorzystnego wpływu mechanizmu różnicowego mostu napędowego na własności dynamiczne ciągnika. Analizowany jest stan pracy, w którym siła napędowa jednego z kół jezdnych zostaje ograniczona siłą przyczepności do podłoża, powodując zmianę poślizgu względnego kół napędowych a tym samym zmianę chwilowej prędkości agregatu ciągnikowego. Pulsacje prędkości roboczej ciągnika przekładają się na zmianę parametrów agrotechnicznych realizowanych zabiegów, szczególnie z udziałem takich maszyn jak rozsiewacze nawozowe lub opryskiwacze.

**Słowa kluczowe:** mechanizm różnicowy, poślizg kół, rozsiewacz nawozowy

### Wstęp

Uruchomienie mechanizmu różnicowego następuje wówczas gdy różnica momentów napędowych na obu półosiach jest równa lub większa od podwójnej wartości momentu tarcia mechanizmu. Wraz ze zmianami prędkości kątowych półosi w stosunku do pracy w warunkach bezpoślizgowych zachodzi zmiana prędkości rzeczywistej ciągnika oraz zmiana toru jazdy wynikająca z wartości średniej kątów znoszenia kół mostu napędowego ciągnika. Niekorzystny stan dynamiczny ciągnika nasila się wraz z obniżeniem momentu tarcia w mechanizmie różnicowym i przekładni zwolniczy bocznej, a także wraz ze zmniejszeniem promienia dynamicznego koła jezdnego [Dajniak 1985]. Realizacja zabiegów agrotechnicznych z użyciem agregatu ciągnikowego na odcinku prostoliniowym, może przebiegać ze znacznymi pulsacjami prędkości roboczej. Włączenie mechanizmu nastąpi w wyniku ograniczenia siły napędowej na jednym kole siłą przyczepności lub różną obwiednią zarysu wierzchniej struktury gleby pomiędzy przeciwległymi kołami napędowymi.

### Stany dynamiczne pracy mechanizmu różnicowego

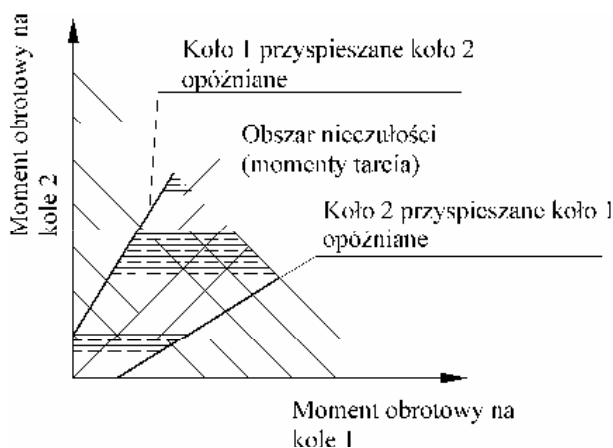
Zapis warunku uruchomienia mechanizmu różnicowego dla powstałej różnicy momentów napędowych na półosiach 1 i 2 przy statycznym momencie tarcia mechanizmu  $M_T$  określa zależność:

$$M_1 + M_2 = 2M_T \quad (1)$$

Dokład różnica między stycznymi reakcjami podłoża jest zbyt mała aby pokonać opór tarcia wewnętrzne i wprawić w ruch elementy wewnętrzne mechanizmu różnicowego, tak długo oba koła mają jednakową prędkość kątową. W tym przypadku momenty obrotowe na obu półosiach mogą się wahać w granicach wyznaczonych zapisem [Dajniak 1985]:

$$\begin{aligned} M_{\min} &= 0,5 M_0 - 0,5 M_T \\ M_{\max} &= 0,5 M_0 + 0,5 M_T \end{aligned} \quad (2)$$

Strefa zmian momentu napędowego półosi ciągnika została przedstawiona na rysunku 1 z uwzględnieniem zmiany statycznego momentu tarcia i przejścia do stanu odtaczania kół koronowych i satelitów mechanizmu. Moment statyczny mechanizmu ciągnikowego wyposażonego w cztery satelity zawiera się w granicach  $0,1 M_0$  przechodząc następnie w fazie pracy do wartości  $0,025$  do  $0,05 M_0$  [Jaśkiewicz 1987]. Mechanizmy tego typu, tzn. o niskim tarcu wewnętrznym cechują się współczynnikiem blokowania  $K_B$  na poziomie  $1,1 - 1,2$ .



Rys. 1. Zmienność momentów napędowych półosi napędowych ciągnika w odniesieniu do strefy momentu tarcia mechanizmu różnicowego

Fig. 1. Fluctuation of driving torques of tractor driving half-shafts in relation to the zone of friction torque of differential gear

Współczynnik  $K_B$  określa w jakim stopniu mechanizm różnicowy wpływa na poprawne własności trakcyjne ciągnika. Wraz ze wzrostem współczynnika blokowania uzyskuje się większą siłę napędową ciągnika i mniejszą wrażliwość na pulsacje prędkości roboczej wynikającą z okresowego włączania mechanizmu różnicowego [Jaśkiewicz 1987].

Problematyka badawcza ukierunkowana została na ocenę zmian prędkości roboczej agregatu ciągnikowego z zawieszonym rozsiewaczem nawozowym wynikającą z przejazdu ciągnika po torze prostoliniowym w warunkach prac polowych. Praca rozsiewacza w warunkach zmiennej prędkości roboczej agregatu cechuje się zróżnicowanym rozkładem powierzchniowym masy rozsiewanego nawozu [Basiśta, Cieślowski 2005]. W trakcie pomiarów została zablokowana dźwignia zmiany dawki paliwa regulatora wielozakresowego pompy wtryskowej, zapewniając tym samym stałą prędkość obrotową wału silnika a w konsekwencji stałą prędkość kątową obudowy mechanizmu różnicowego. Zróżnicowana przyczepność kół napędowych do podłoża a także przechyły boczne ciągnika wskazywały na różną drogę odtaczania kół napędowych ciągnika powodując okresowe włączanie mechanizmu. Zmienna przyczepność kół napędowych ciągnika wywołuje poślizg sumaryczny zgodnie z zależnością [Dajniak 1985]:

$$S_c = 1 - \frac{2(1 - S_1)(1 - S_2) \cos(\varepsilon + \delta_1) \cos(\varepsilon - \delta_2)}{\cos \varepsilon [(1 - S_1) \cos(\varepsilon + \delta_1) + (1 - S_2) \cos(\varepsilon - \delta_2)]} \quad (3)$$

gdzie:

- $S_c$  – poślizg ciągnika,
- $S_1, S_2$  – poślizgi kół mostu napędowego,
- $\delta_1, \delta_2$  – kąty znoszenia kół mostu napędowego,
- $\varepsilon = \arctg(B/2C)$  [rad] – kąt znoszenia mostu

gdzie:

- $B$  – rozstaw kół mostu napędowego ciągnika,
- $C$  – przesunięcie chwilowego środka obrotu ciągnika względem linii tylnych kół.

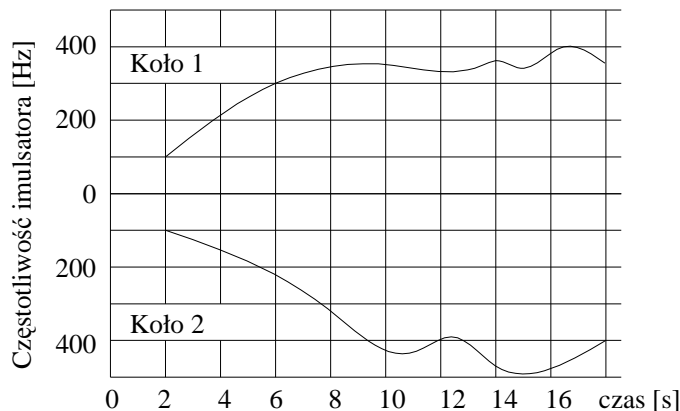
Dla niewielkich odchyłeń toru rzeczywistego agregatu od kierunku prostoliniowego zależność obrazująca poślizg ciągnika ulega uproszczeniu po wyeliminowaniu składników kąta znoszenia mostu i kątów znoszenia kół.

### **Badania pulsacji prędkości kątowych półosi napędowych**

W trakcie przejazdów roboczych agregatu dokonywano, zapisu częstotliwości impulsów prostokątnych dla obu półosi napędowych przy wspólnej podstawie czasu [Cieślowski 2001].

Dla potrzeb pozycjonowania położenia kątowych półosi napędowych a tym samym dokonania zapisu zmienności prędkości kątowych półosi wykonano układ pomiarowy. Do zapisu impulsów uzyskanych w trakcie realizacji prac polowych, wykorzystano analizator z czterokanałowym torem pomiarowym Rubel and Kjaer 3550. Emitowane sygnały prostokątne pochodzą od przetworników hallotronowych PCB 336004 umieszczonych w strefach przekładni zwolnic bocznych mostu napędowego ciągnika. Wykorzystano w tym przypadku koło zębate półosi napędowej zwolnicy o dużej średnicy podziałowej, którego podziałka zębów stanowi znacznik pozycjonowania koła napędowego. Zainstalowanie przetworników nie wymaga modyfikacji zwolnicy, gdyż zostały wykorzystane do tego celu gwintowane otwory technologiczne odlewanego korpusu. Zapis impulsów generowanych przez przetworniki następuje równocześnie przy wspólnej podstawie czasu, co umożliwia dokonanie analiz porównawczych odnośnie przesunięć fazowych sygnałów, dając w ten sposób bieżący zapis względnego poślizgu kół, a tym samym pulsacji prędkości roboczej agregatu ciągnikowego.

Przykładowe przebiegi zmian częstotliwości impulsów stanowiące odwzorowanie prędkości obrotowej obu półosi napędowych (jako krotność podziału tarczy impulsatora) zamieszczono na rysunku 2.



Rys. 2. Zmienność prędkości kątowych półosi napędowych ciągnika w przedziale czasu pracy mechanizmu różnicowego

Fig. 2. Fluctuation of angular velocities of tractor driving half-shafts in the differential gear working time interval

Przebiegi zmian prędkości kół napędowych ciągnika obejmują fragment zapisanej charakterystyki czasowej, w którym zaistniał zwiększony poślizg koła nr.1 w wyniku okresowego spadku współczynnika przyczepności do podłoża. Nastąpił widoczny wzrost częstotliwości generowanych impulsów a tym samym prędkości obrotowej koła nr.1 i jednoczesny spadek prędkości koła przeciwnego (nr. 2) jako efekt pracy mostowego mechanizmu różnicowego. Suma rzędnych wzrostu i spadku obrotów kół ciągnika w rozpatrywanym czasie  $t_i$  oscyluje względem wartości stałej zgodnie z zależnością:

$$\omega_1 + \omega_2 = 2 \omega_0 \quad (4)$$

Pewne zróżnicowanie sumy rzędnych na charakterystyce czasowej przypisać należy głównie „tolerancji momentu tarcia” mechanizmu różnicowego. Prędkość liniowa agregatu ciągnikowego w zaistniałych warunkach, wyznaczona jest iloczynem prędkości kątowej półosi napędowej nr.2 i dynamicznego promienia koła jezdnego w warunkach zaistniałego poślizgu. Prędkość agregatu ciągnikowego przed uruchomieniem mechanizmu różnicowego, została wyznaczona na podstawie przebiegu czasowego impulsów o tej samej częstotliwości dla obu półosi napędowych. Badania wstępne obejmujące zapis przebiegów zmian częstotliwości impulsów na charakterystyce czasowej, wykazały możliwość spadku prędkości ruchu agregatu nawet o około 18%.

## Wnioski

1. Przeprowadzone pomiary zmiennej prędkości kątowej półosi napędowych ciągnika rolniczego w trakcie realizacji prac polowych wskazują na zmienność wynikowego poślizgu a tym samym na istnienie znacznych pulsacji prędkości roboczych ciągnika. Pulsacje prędkości roboczej ciągnika przekładają się na zmianę parametrów agrotechnicznych realizowanych zabiegów, szczególnie z udziałem takich maszyn jak rozsiewacze nawozowe lub opryskiwacze.
2. Należy wprowadzić przetworniki prędkości kątowych kół napędowych ciągnika w celu ciągłej sygnalizacji prędkości roboczej agregatu ze względu na zapewnienie warunków poprawnej pracy komputera pokładowego ciągnika monitorującego pracę np. opryskiwacza lub rozsiewacza.

## Bibliografia

Basista G., Cieślukowski B. 2005. Modelowanie ruchu cząstki granulatu nawozowego ze względu na zmienność płaszczyzny wirowania tarczy rozsiewacza, Acta Agrophysica – praca w druku.

Cieślikowski B. 2001. Ocena stanu dynamicznego central grzewczo-nawiewnych. Opracowanie dla Wydziału Zgrzewalni Karoserii FIAT AUTO POLAND S.A.

Dajniak H. 1985. Ciągniki – teoria ruchu i konstruowanie, WKŁ Warszawa.

Jaśkiewicz Z. 1987. Mosty napędowe, WKŁ Warszawa.

## **STABILITY OF THE WORKING SPEED OF THE TRACTOR UNIT CONSIDERING FRICTION TORQUE OF THE DIFFERENTIAL GEAR**

### **Summary**

The subject matter of the publication relates to the problems of unfavorable effect of differential gear of the driving axle on the tractor's dynamic properties. The analysis covers the working condition, in which the driving force of one of the road wheels is restricted by the surface adhesive force, resulting in the change of relative slip of driving wheels and thereby change in the momentary speed of the tractor unit. Pulsations of the tractor working speed result in the change of the agrotechnical parameters of the performed operations, particularly with the participation of such machines like fertilizer distributors or spraying machines.

**Key words:** differential gear, wheel slip, fertilizer distributor