

POMIAR PRĘDKOŚCI KĄTOWEJ I POSTĘPOWEJ
KÓŁ NAPĘDOWYCH CIĄGNIKA METODĄ FILMOWĄ

Zbigniew Błaszkiwicz, Jan Kozicz

Instytut Mechanizacji Rolnictwa Akademii Rolniczej w Poznaniu

W badaniach kołowych mechanizmów jezdnych oraz ich wpływu na ugniatanie gleby zachodzi potrzeba precyzyjnego i dokładnego określenia parametrów ruchu koła (2, 3, 4). Zastosowanie techniki filmowej umożliwiło pomiar poślizgu kół napędowych ciągnika na krótkich odcinkach drogi na poziomie błędów 0,01 (1).

Oprzyrządowanie (stosowane w opracowanej metodzie filmowej) pomiaru poślizgu stwarza także możliwość określenia:

- prędkości kątowej koła;
- rzeczywistej prędkości postępowej koła.

Realizacja pomiarów wymienionych parametrów wymaga przygotowania i zamontowania na ciągniku następującej aparatury:

- kamery filmowej, z możliwością regulacji prędkości przesuwu klatek filmowych;

- pierścienia ze stalowej blachy z naniesioną wewnątrz podziałką centymetrową;

- sztywnego liniału z podziałką centymetrową;
- wskaźnika osi koła.

Rozmieszczenie oprzyrządowania na ciągniku Ursus C-385 przedstawiono na rys. 1.

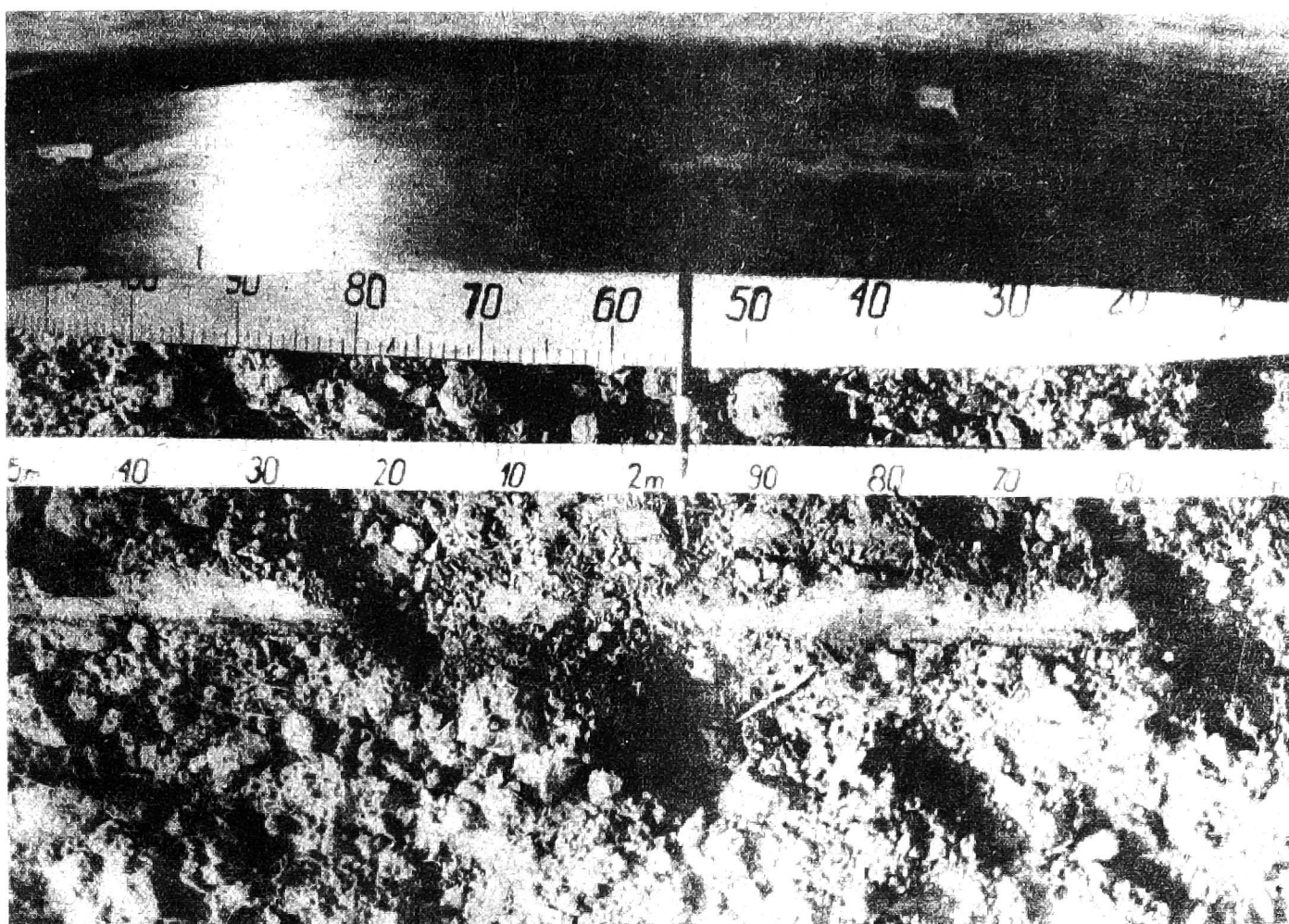
W czasie ruchu koła umieszczona nad jego osią kamera filmuje przesuwające się podziałki na pierścieniu, montowanym współosiowo do tarczy koła oraz na liniale leżącym na podłożu obok pierścienia (w odległości około 0,5 m) wzdłuż toru ruchu koła (rys. 2).

W pomiarach stosowano kamerę filmową AK - 16 wyposażoną w obiektyw Pentovar 1 : 2, 8, 15 - 60 mm, w której w układzie napędowym wykorzystano przekładnię i silnik wysokiej sprawności. W zakresie prędkości od 0 do $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, rozwijanej przez ciągnik



Rys. 1. Rozmieszczenie oprzyrządowania do pomiaru poślizgu kół na ciągniku

Ursus C-385, parametry kamry - przysłona i prędkość przesuwu taśmy filmowej - pozwalały przy oświetleniu dziennym na prawidłowe rejestrowanie przemieszczających się przed obiektywem podziałek centymetrowych na liniale i na pierścieniu przy stosowaniu materiału światłoczułego (film ORWO UP - 52, 16 mm, 26 DIN, czarno-biały). Pomiary prowadzono w okresie letnim, co pozwoliło na prawidłową ekspozycję materiału światłoczułego.



Rys. 2. Obraz filmowany przez kamerę filmową

OBLICZENIE PRĘDKOŚCI KĄTOWEJ KOŁA

Do obliczenia prędkości kątowej koła wykorzystano ogólnie znany wzór na zależność prędkości kątowej od prędkości liniowej koła i jego promienia:

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (\text{rad s}^{-1}) \quad (1)$$

w którym:

- ω - prędkość kątowa koła,
- v - prędkość liniowa koła,
- r - promień koła.

Wyrażając prędkość liniową jako

$$v = \frac{s}{t},$$

w której:

s - droga obwodu koła,

t - czas pokonania drogi obwodu koła s ,

i podstawiając do wzoru (1) otrzymamy

$$\omega = \frac{s}{r t} \quad (2)$$

Z uwagi na to, że wszystkie punkty koła poruszają się z tą samą prędkością kątową, obliczenia przeprowadzono dla pierścienia zamocowanego współosiowo do tarczy koła, którego parametry ruchu - takie jak droga obwodu s oraz czas pokonania drogi obwodu t - rejestrowano na taśmie filmowej w czasie ruchu koła.

Czas t , w którym punkt obwodu pierścienia pokonał drogę s , obliczono wykorzystując stały przesów taśmy filmowej z zależności

$$t = \frac{i_1}{i} \quad (s) \quad (3)$$

w której:

i_1 - liczba klatek filmowych, na której zarejestrowano długość drogi s ,

i - prędkość przesuwu taśmy filmowej (1 s^{-1}).

Po podstawieniu do wzoru (2) zależności (3) otrzymujemy

$$\omega = \frac{s}{\frac{i_1}{i} r}$$

a po przekształceniu ostateczny wzór na prędkość kątową koła napędowego ciągnika ma postać:

$$\omega = \frac{i s}{i_1 r} \quad (\text{rad s}^{-1}), \quad (4)$$

w którym:

r - promień pierścienia z podziałką, w m,

s - droga na obwodzie pierścienia, m.

OBLICZANIE RZECZYWISTEJ PRĘDKOŚCI POSTĘPOWEJ KOŁA

Podstawą do obliczenia rzeczywistej prędkości postępowej koła był ogólnie znany wzór

$$v_{rz} = \frac{s_1}{t} \quad (\text{m s}^{-1}), \quad (5)$$

w którym:

s_1 - droga mierzona na liniale z podziałką, którą przebyło koło,
 t - czas pokonania przez koło drogi s_1 .

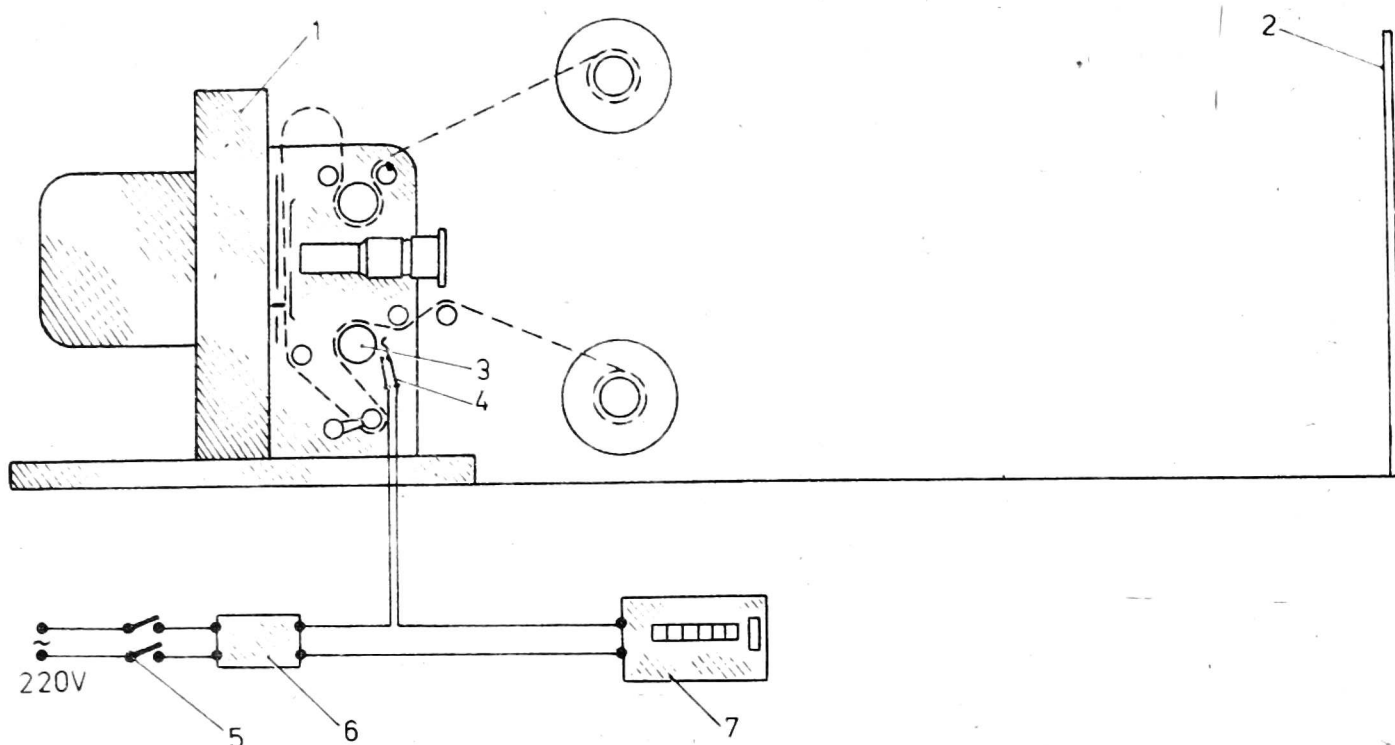
Wielkość drogi s_1 odczytuje się z liniału z podziałką, którego obraz filmowano na taśmie filmowej, natomiast czas pokonania drogi s_1 określa się z zależności (3), z tym że parametr i_1 w tym przypadku oznacza ilość klatek filmowych, na których zarejestrowano drogę s_1 . Po uwzględnieniu zatem zależności (3) ostateczny wzór na obliczenie rzeczywistej prędkości postępowej koła ma postać:

$$v_{rz} = \frac{s_1 \cdot i}{i_1} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (6)$$

APARATURA DO ODCZYTU DANYCH ZAREJESTROWANYCH NA TAŚMIE FILMOWEJ

Odczytu wielkości drogi na pierścieniu s i drogi na liniale s_1 dokonać można na przeglądarce filmowej bądź przy wykorzystaniu projektora filmowego, wyposażonego w klatkę „stop”. Z uwagi na to, że dostępna aparatura na ogół nie jest wyposażona w licznik klatek, umożliwiającą liczenie ilości klatek filmowych i_1 , proponuje się stosować sprawdzony praktycznie w badaniach przez autorów pracy, niżej przedstawiony układ. Schemat ideowy układu liczące-

go klatki filmowe, zastosowanego do projektora filmowego, przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat układu zliczającego klatki filmowe, zamontowanego do projektora filmowego: 1 - projektor filmowy, 2 - ekran, 3 - bęben transportujący, 4 - przerywacz, 5 - włącznik, 6 - transformator, 7 - licznik klatek z kasownikiem

W układzie tym oparto się na zależności, iż jeden ząbek bębna transportującego taśmę filmową przesuwają jeden kadr filmowy. Wobec tego licznik klatek zlicza impulsy elektryczne, wywoływane przerywaczem uruchamianym ząbkami bębna transportującego taśmę filmową. Powyższy układ zamontować można także w przeglądarce filmowej.

OKREŚLENIE BŁĘDÓW W METODZIE POMIARÓW

Analizując zestaw aparatury i przyrządów pomiarowych stwierdzić można, że błędy wynikają z:

- odczytu drogi na pierścieniu z podziałką, s ;
- odczytu drogi na liniale z podziałką, s_1
- pomiaru promienia pierścienia, r
- liczenia klatek filmowych, i_1
- równomierności prędkości przesuwu klatek filmowych w kamerze filmowej, i .

Wartości błędów bezwzględnych wielkości prostych wynoszą przy:

- stosowaniu na pierścieniu i na liniale podziałki centymetrowej ($\Delta s_1 = 0,01 \text{ m}$; $\Delta s = 0,01 \text{ m}$);
- stosowaniu przymiaru z podziałką milimetrową do pomiaru promienia pierścienia ($\Delta r = 0,001 \text{ m}$);
- liczeniu klatek filmowych ($\Delta i_1 = 1,0 \text{ klatki}$).

W pomiarach pominięto błąd wynikający z prędkości przesuwu taśmy filmowej z uwagi na to, że przed badaniami należy określić rzeczywistą prędkość przesuwu taśmy i uwzględnić ją w obliczeniach.

Praktycznie, określenie rzeczywistej prędkości przesuwu taśmy polega na filmowaniu, przy założonej prędkości przesuwu taśmy, wskazówki uruchomionego stopera. Liczba klatek filmowych podzielona przez odcinek czasu odmierzony wskazówką stopera daje w wyniku rzeczywistą wartość przesuwu taśmy filmowej.

Błąd pomiaru prędkości kątowej koła

Błąd bezwzględny pomiaru prędkości kątowej koła, określanej ze wzoru 4 wynosi:

$$\Delta \omega = \left| \frac{\partial s}{\partial \omega} \right| \Delta s + \left| \frac{\partial i_1}{\partial \omega} \right| \Delta i_1 + \left| \frac{\partial r}{\partial \omega} \right| \Delta r + \left| \frac{\partial i}{\partial \omega} \right| \Delta i,$$

ponieważ przyjęto $\Delta i = 0$

$$\Delta \omega = \left| \frac{i}{i_1 r} \right| \Delta s + \left| \frac{i s_1}{i_1 r} \right| \Delta i_1 + \left| \frac{i s_1}{i_1 r^2} \right| \Delta r \quad (7)$$

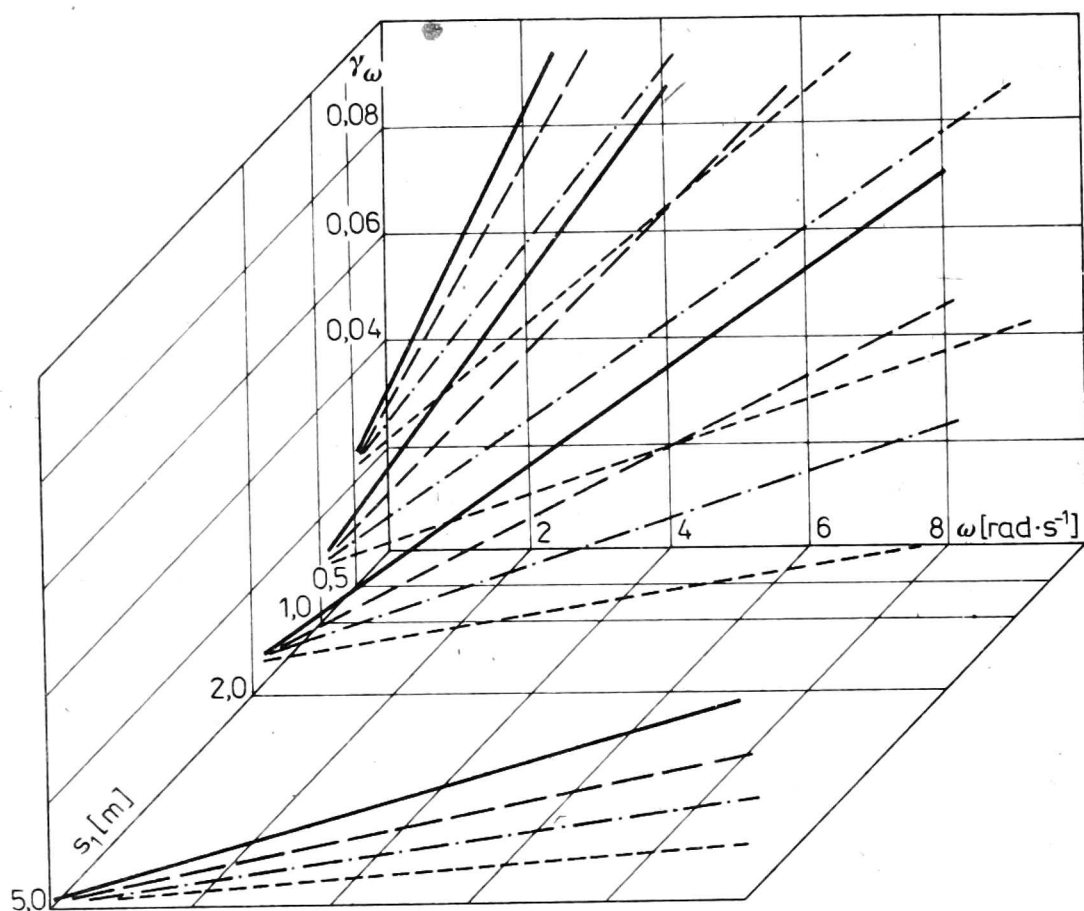
Błąd względny pomiaru prędkości kątowej wynosi

$$\frac{\delta \omega}{\omega} = \left| \frac{\partial s}{\partial \omega} \right| \frac{\Delta s}{\omega} + \left| \frac{\partial i_1}{\partial \omega} \right| \frac{\Delta i_1}{\omega} + \left| \frac{\partial r}{\partial \omega} \right| \frac{\Delta r}{\omega},$$

ponieważ $s > 0$, $i_1 > 0$, $r > 0$

$$\gamma_{\omega} = \left| \frac{1}{s} \right| \Delta s + \left| \frac{1}{i_1} \right| \Delta i_1 + \left| \frac{1}{r} \right| \Delta r \quad (8)$$

W celu zobrazowania błędu względnego pomiaru w zależności od długości drogi na pierścieniu s i od prędkości kątowej na rysunku 4 przedstawiono te zależności w postaci graficznej, zakładając,



Rys. 4. Błąd względny metody γ_{ω} w zależności od prędkości kątowej koła ω i długości odcinka na pierścieniu s przy przesuwach klatek taśmy filmowej $i = 24, 32, 48$ i 96 w czasie 1 sekundy

że $r = 0,422$ m - promień pierścienia z podziałką zamontowanego do tarczy koła ciągnika Ursus C-385.

Błąd pomiaru rzeczywistej prędkości postępowej koła

Błąd bezwzględny pomiaru rzeczywistej prędkości postępowej koła określanej ze wzoru 6 wynosi

$$\Delta v = \left| \frac{\partial s_1}{\partial v} \right| \Delta s_1 + \left| \frac{\partial i}{\partial v} \right| \Delta i + \left| \frac{\partial i_1}{\partial v} \right| \Delta i_1,$$

ponieważ $\Delta i = 0$

$$\Delta v = \left| \frac{i}{i_1} \right| \Delta s_1 + \left| \frac{s_1 i}{i_1^2} \right| \Delta i_1 \quad (9)$$

Błąd względny maksymalny pomiaru rzeczywistej prędkości koła wynosi

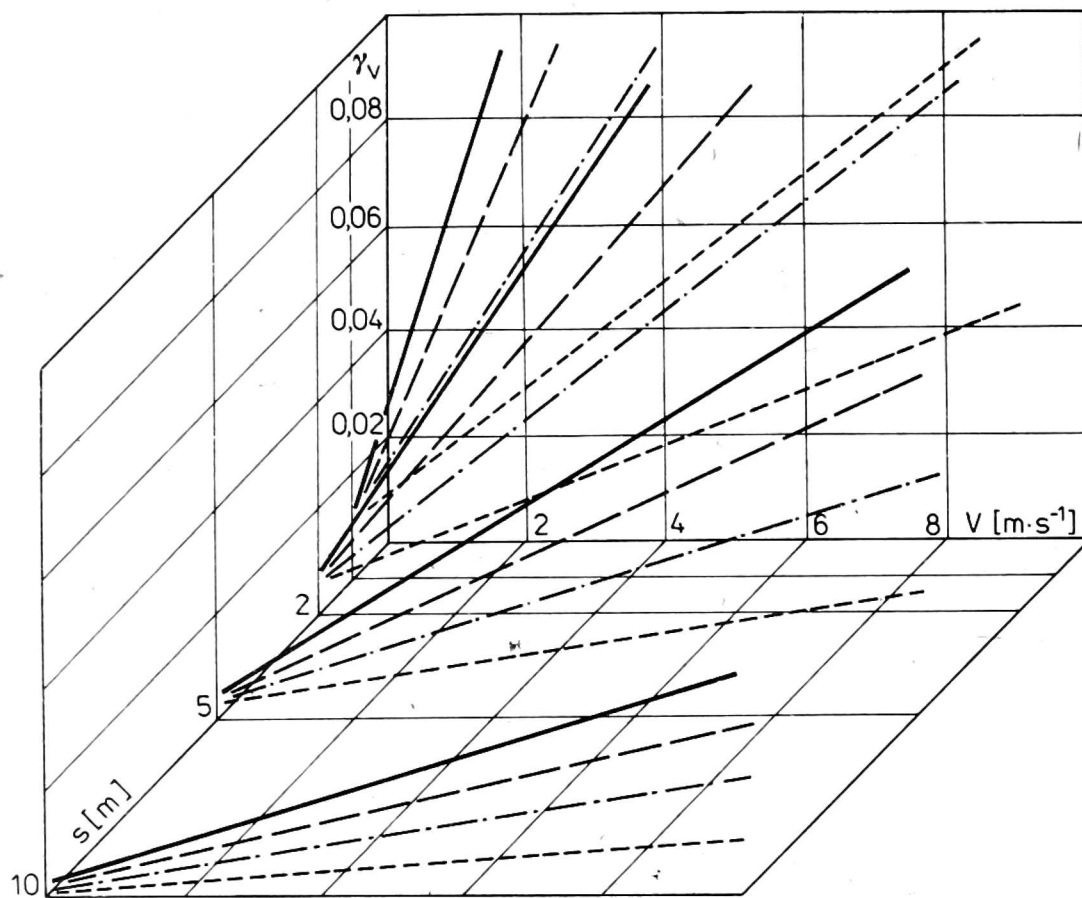
$$\partial^{\circ} v = \left| \frac{\frac{\partial s_1}{\partial v}}{v} \right| \Delta s_1 + \left| \frac{\frac{\partial i_1}{\partial v}}{v} \right| \Delta i_1,$$

ponieważ $s_1 > 0$, $i_1 > 0$

$$\partial^{\circ} v = \left| \frac{1}{s_1} \right| \Delta s_1 + \left| \frac{1}{i_1} \right| \Delta i_1 \quad (10)$$

Wartość błędu względnego pomiaru rzeczywistej prędkości postępowej koła w zależności od długości drogi s_1 przy różnych prędkościach postępowych przedstawiono graficznie na rysunku 5. Zależności te przedstawiono dla najczęściej występujących klatek filmowych w kamerach $i = 24, 32, 48$ i 96 w czasie jednej sekundy.

Zwiększenie precyzji pomiarów omówionymi metodami na krótkich odcinkach pomiarowych jest możliwe przy zastosowaniu na pierścieniu i na liniale podziałek półcentymetrowych. Jednakże nie zawsze jest to uzasadnione, szczególnie przy mierzonych większych prędkościach, gdyż wówczas o wartości błędu względnego decyduje prędkość



Rys. 5. Błąd względny metody ρv w zależności od rzeczywistej prędkości postępowej koła V i od długości odcinka pomiarowego s_1 przy prędkościach przesuwu taśmy filmowej $i = 24, 32, 49$ i 96 w czasie 1 sekundy

kość przesuwu klatek filmowych, która w tym przypadku powinna być zwiększona.

Przedstawione metody pomiarów prędkości kątowej kół napędowych oraz rzeczywistej prędkości postępowej ciągnika (przy wykorzystaniu aparatury do pomiaru poślizgu) zostały przez autorów zastosowane z dobrym skutkiem w badaniach polowych nad wpływem poślizgu kół na zmiany właściwości fizykomechanicznych gleby. Badania te prowadzone są aktualnie w Instytucie Mechanizacji Rolnictwa Akademii Rolniczej w Poznaniu.

LITERATURA

1. Błaszkiwicz Z., Kozicz J., Piechnik L., Podsiadłowski S.: Pomiar poślizgu kół jezdnych ciągnika metodą filmową. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze* 1978, nr 4.
2. Dajniak H.: *Ciągniki, teoria ruchu i konstruowanie*. WKiŁ Warszawa 1979.

3. Kozicz J., Błaszkiwicz Z., Piechnik L., Podsiadłowski S.: Wpływ mechanizmów jezdnych ciągników i maszyn rolniczych na erozję wodną i wietrzną gleb lekkich. Maszynopis Instytutu Mechanizacji Rolnictwa AR w Poznaniu, 1979.
4. Sołtyński A.: Mechanika układu pojazd-teren. MON, Warszawa, 1966.

Збигнев Блашкевич, Ян Козич

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВОЙ И ПОСТУПАЮЩЕЙ СКОРОСТИ ВЕДУЩИХ КОЛЕС ТРАКТОРА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬМОВОЙ ТЕХНИКИ

Р е з ю м е

В статье представлен метод измерения угловой и действительной поступающей скорости колеса с использованием фильмовой техники. Исчисления указанных величин основывались на данных получениях с помощью аппаратуры применяемой в фильмовой технике измерения скольжения колес тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин. Проведенный анализ погрешностей показал, что представленный метод позволяет определять угловую и действительную поступающую скорость колеса на коротких участках дороги, при обеспечении высокой точности измерения. Указанный метод был проверен авторами в практике в полевых исследованиях с положительными результатами.

Zbigniew Błaszkiwicz, Jan Kozicz

MEASUREMENT OF THE ANGULAR AND FORWARD SPEED OF GROUND WHEELS,
OF A TRACTOR USING THE FILM TECHNIQUE

S u m m a r y

The method of measurement of the angular speed and the real forward speed of the tractor wheel using the film technique is presented in the paper. Calculation of the above values was based on the data obtained from the registering instruments applied in the film technique of measurement of the slip of wheels of tractors and self-propelled farm machinery. The analysis of errors has proved that the method presented enables to determine the angular and real forward speed of a wheel within short sectors of

its way, at a high precision of the measurement. The above method was verified by the authors practically in field experiments with positive results.