

Jerzy ŻEBROWSKI, Zbigniew ŻEBROWSKI

Instytut Maszyn i Urządzeń Rolniczych ART w Olsztynie

Instytut Pojazdów Politechniki Warszawskiej

ANALIZA PRZEPIYU MOCY PRZEZ MECHANIZM SKRĘTU POJAZDU GĄSIENICOWEGO  
Z PODWÓJNYM DOPROWADZENIEM MOCY

Streszczenie. W pracy przyjęto model mechanizmu skrętu pojazdu gąsienicowego z podwójnym doprowadzeniem mocy wg [7]. Wyznaczono przedziały zmian promienia skrętu w całym przedziale. Dla poszczególnych przedziałów zmian promienia skrętu wykonano schematy przepływu mocy. Opisano także poszczególne przypadki przepływu mocy przez układ i dokonano jej analizy. Dla przykładowych danych pojazdu gąsienicowego przedstawiono zmiany  $ims=f(idl)$ ;  $R/B=a(idl)$ . Na zakończenie podano najważniejsze wnioski.

ANALYSIS OF A POWER FLOWING IN A DOUBLY POWERED TURN MECHANISM  
OF A CRAWLER CHAIN TRUCK

Summary. The paper presents the analysis of a power flowing through the mechanism for different values of turn radiuce. Relations between angular speeds and turning moments of particular elements of a planetary gear are given. Flow power charts evaluated for turn radiuce is presented. Principle of operation of turn mechanism is described. The results of analysis are illustrated also by flowing power charts evaluated for characteristic ranges of radiuce of turn.

АНАЛИЗ ПРОТЕКАНИЯ МОШНОСТИ ЧЕРЕЗ МЕХАНИЗМ ПОВОРОТА ГУСЕНИЧНОГО  
ПОЕЗДА С ДВОЙНОМ ДОВЕДЕНИЕМ МОШНОСТИ

Резюме. В работе принята модель механизма поворота гусеничного поезда с двойным доведением мошности. Анализируемый механизм позволяет отискать часть мошности теряемой при поворота. Кроме того, этот механизм улучшает маневренность целого поезда. Выполнено тоже анализ мошности протекающей через анализируемый механизм для представляющих интерес значений радиуса поворота. Плученные результаты иллюстрируются схемами протекания мошности.

## 1. WSTĘP

Generalnie w literaturze omawiającej mechanizmy skrętu pojazdów gąsienicowych z podwójnym doprowadzeniem mocy brak jest wyczerpującej analizy jej przepływu, a jedynie w licznych publikacjach (artykułach, materiałach informacyjnych firm), m.in. [1,2,3,4,5,6] są zamieszczane fragmentaryczne opisy tego typu układów. Autorzy niniejszego opracowania na podstawie modelu [7] postanowili dokonać analizy przepływu mocy przez poszczególne elementy mechanizmu skrętu w zależności od promienia skrętu.

## 2. CHARAKTERYSTYCZNE PRZEDZIAŁY ZMIAN PROMIENIA SKRĘTU

W wyniku przeprowadzonej analizy zależności z [7] odpowiednie przedziały zmian promienia skrętu przedstawiono w tab.1.

Tabela 1

1	$R=\infty$	$i_{dl}=\infty$	$i_{ms}=1$	$P_{np}>0$
2	$R_s<R<\infty$	$A<i_{dl}<\infty$	$1<i_{ms}<C$	
3	$R=R_s$	$i_{dl}=A$	$i_{ms}=C$	$P_{np}=0$
4	$D<R<R_s$	$1<i_{dl}<A$	$C<i_{ms}<E$	$P_{np}>0$
5	$R=D$	$i_{dl}=1$	$i_{ms}=E$	
6	$B/2<R<D$	$-1/i_{12}^0<i_{dl}<1$	$E<i_{ms}<\infty$	
7	$R=B/2$	$i_{dl}=-1/i_{12}^0$	$i_{ms}=+\infty$	
8	$0<R<B/2$	$0<i_{dl}<-1/i_{12}^0$	$-\infty<i_{ms}<-1$	
9	$R=0$	$i_{dl}=0$	$i_{ms}=-1$	

gdzie:  $R_s$  - swobodny promień skrętu ( $P_{np} = 0$ )

$$A = \frac{1+i_{ms}}{i_{12}^0(1-i_{ms})} ; \quad C = \frac{\mu_{smax}L-1,5f_gB}{\mu_{smax}L-2f_gB} ; \quad D = -0,5i_{12}^0B ; \quad E = \frac{i_{12}^0-1}{i_{12}^0+1}$$

## 3. ZALEŻNOŚCI UMOŻLIWIAJĄCE OKREŚLENIE MOCY PRZEPLYWAJĄCEJ PRZEZ POSZCZEGÓLNE ELEMENTY UKŁADU

W celu określenia mocy przepływających przez poszczególne elementy

układu, przenoszonych ruchem względnym i unoszenia, określono poszczególne prędkości kątowe i momenty obrotowe w funkcji prędkości kątowej i momentu obrotowego silnika napędowego. Zależności pomiędzy poszczególnymi prędkościami kątowymi przedstawiają równania (1)-(6)

$$\omega_{01} = \omega_e \frac{i_{12}^0 - \frac{1}{i_{d1}}}{i_s (i_{12}^0 - 1)} ; \quad \omega_{0p} = \omega_e \frac{i_{12}^0 + \frac{1}{i_{d1}}}{i_s (i_{12}^0 - 1)} \quad (1,2)$$

$$\omega_{w11} = \omega_e \frac{i_{12}^0 (1 - i_{d1})}{i_s i_{d1} (i_{12}^0 - 1)} ; \quad \omega_{w21} = \omega_e \frac{1 - \frac{1}{i_{d1}}}{i_s (i_{12}^0 - 1)} \quad (3,4)$$

$$\omega_{w1p} = -\omega_e \frac{i_{12}^0 (1 + i_{d1})}{i_s i_{d1} (i_{12}^0 - 1)} ; \quad \omega_{w2p} = -\omega_e \frac{1 + \frac{1}{i_{d1}}}{i_s (i_{12}^0 - 1)} \quad (5,6)$$

Zależności pomiędzy momentami np. dla szeregu planetarnego lewego są następujące:  $M_{11} = -\frac{M_{01}}{1 - i_{12}^0}$  ;  $M_{21} = M_{01} \frac{i_{12}^0}{1 - i_{12}^0}$  (7,8)

gdzie:  $M_{11}$  - moment obrotowy występujący na kole słonecznym lewego szeregu planetarnego;  $M_{01}$  - moment obrotowy występujący na jarzmie lewego szeregu planetarnego;  $M_{21}$  - moment obrotowy występujący na kole koronowym lewego szeregu planetarnego;

$$M_{01} = M_e \frac{i_s i_{u1} (i_{12}^0 i_{d1} + 1) (i_{12}^0 - 1) - (i_{12}^0 i_{u1} - i_s) (i_{12}^0 - 1) i_s i_{d1}}{(i_{12}^0 i_{u1} - i_s) (i_{12}^0 i_{d1} - 1) - (i_{12}^0 i_{u1} + i_s) (i_{12}^0 i_{d1} + 1)} \quad (9)$$

Poszczególne moce przenoszone przez szeregi planetarne wyrażono zależnościami (10)-(16)

$$N_{1x} = M_{1x} \omega_{1x} ; \quad N_{u1x} = M_{1x} \omega_{0x} ; \quad N_{w1x} = M_{1x} (\omega_{1x} - \omega_{0x}) \quad (10, 11, 12)$$

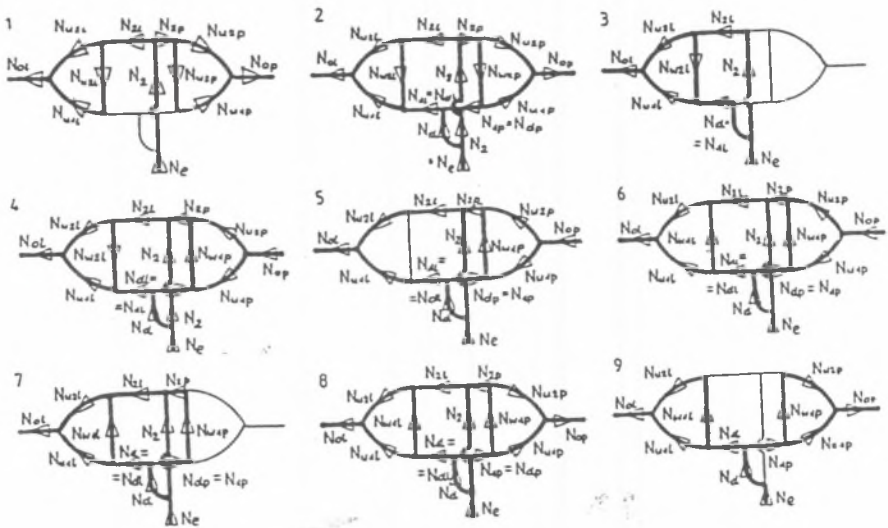
$$N_{2x} = M_{2x} \omega_{2x} ; \quad N_{u2x} = M_{2x} \omega_{0x} \quad (13, 14)$$

$$N_{w2x} = M_{2x} (\omega_{2x} - \omega_{0x}) ; \quad N_{0x} = M_{0x} \omega_{0x} \quad (15, 16)$$

gdzie: indeksy cyfrowe oznaczają poszczególne elementy wg rys.1 [7],  
 indeksy "u" - oznaczają moc unoszenia,  
 indeksy "w" - oznaczają moc przenoszona ruchem względnym,  
 indeks "o" - oznacza wielkości związane z jarzmem,  
 indeks "x" - oznacza prawy (x p p) lub lewy (x p l) szereg planetarny.

#### 4. SCHEMATY PRZEPIYU MOCY PRZEZ UKŁAD NAPEWDY W ZALEŻNOŚCI OD PRZEDZIAŁÓW ZMIAN PROMIENIA SKRĘTU

Schemat przepływu mocy [8,9] wykonano dla przypadków zmian promienia skrętu zamieszczonych w tabeli 1.

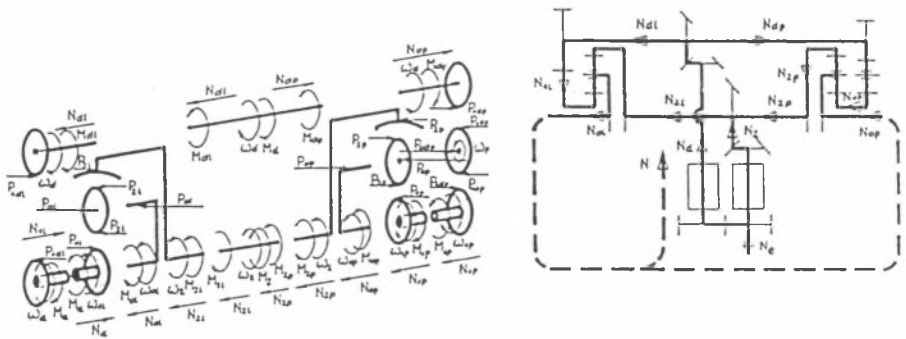


Rys.1. Schematy przepływu mocy dla charakterystycznych przedziałów promienia skrętu

Fig.1. Flow charts of a power for typical values of turn radius

Dla przykładu podano także (rys.2) działanie sił, momentów i zwrotu prędkości kątowych, jak również przepływ mocy przez układ napędowy pojazdu dla przypadku wg rys.1-6.

Analizowane przedziały promienia skrętu określono w zależności od: zwrotu siły  $P_{np} > 0$ ;  $P_{np} = 0$ ;  $P_{np} < 0$  ) i dla charakterystycznych przełożeń  $i_{d1} = -i_{dp}$  ( $i_{d1} = \infty$ ;  $i_{d1} = -1/i_{12}^0$ ;  $i_{d1} = 0$ ). Wiadomo, że gaśienica zabiegająca cały czas napędza pojazd, a więc w każdym przypadku skrętu moc  $N_{o1}$  będzie odbierana z szeregu planetarnego. Natomiast w szeregu planetarnym gaśienicy zabieganej, dopóki siła  $P > 0$ , to również z jarzma tego szeregu będzie odbierana moc  $N_{op}$  (rys.1-1,1-2). Przy sile  $P_{np} = 0$  (rys.1-3) moc na jarzmię szeregu prawego  $N_{op} = 0$ , ale ponieważ gaśienica się obraca (istnieje prędkość kątowa tego jarzma), to moc jest równa zero na skutek zerowej wartości

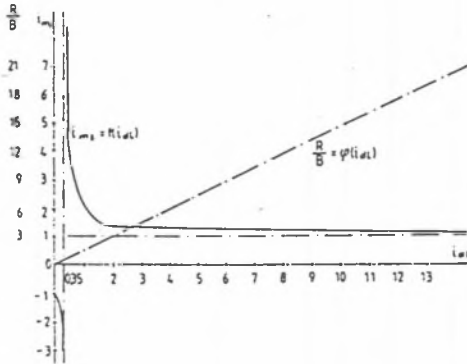


Rys.2. Działanie sił, momentów i zwroty prędkości kątowych oraz przepływ mocy dla przypadku 1-6

Fig.2. Forces, moments and angular speeds in the mechanism shown in Fig.1-6

momentu  $M_{op}$ . Z warunków równowagi szeregu wynika, że w tym przypadku także momenty  $M_{1p} = 0$  i  $M_{2p} = 0$ . Cała więc moc jest przekazywana zarówno strumieniem głównym, jak i dopełniającym na szereg lewy. Przy dalszym zmniejszaniu promienia skrzętu gaśienica zabiegana będzie hamowana, co oznacza że siła  $P_{np} < 0$ , a więc przy tym samym, co w poprzednim przypadku, kierunku obrotów jarzma prawego szeregu, moment na tym jarzmie ( $M_{op}$ ) zmieni swój zwrot (rys.1-4), a więc poprzez jarzmo moc od gaśienicy jest doprowadzana do prawego szeregu planetarnego. Wartość promienia skrzętu, dla którego  $i_{d1} = 1$ ,  $N_{w21} = -N_{w11} = 0$  (rys.1-5) stanowi granicę, po przekroczeniu której następuje zmiana przepływu mocy względnej w szeregu lewym (rys.1-6). Gaśienica prawa (zabiegana) będzie się obracała do przodu, dopóki  $R > B/2$ . Przy  $R = B/2$  (rys.1-7) jej prędkość równa się zero (jarzmo tego szeregu nie obraca się  $M_{op} \neq 0$ ), stąd moc na jarzmie  $N_{op} = 0$  i cała moc dostarczana do szeregu przepływa ruchem względnym (z koła  $Z_1$  na wał "2"). Dalsze zmniejszanie promienia skrzętu związane jest ze zmianą kierunku obrotu gaśienicy zabieganej (rys.1-8). Zwroty momentu i prędkości kątowej na jarzmie szeregu prawego są zgodne (moc z szeregu jest odbierana). Dla  $R = 0$  (rys. 1-9) gaśienice obracają się z tymi samymi prędkościami obwodowymi, ale w przeciwnych kierunkach. Jest to możliwe do uzyskania jedynie przy doprowadzaniu mocy przez układ dopełniający przy zatrzymanych kołach koronowych obydwu szeregów planetarnych.

Dla przykładowych danych pojazdu gąsienicowego ( $i_{12}^{\circ} = -80/28 \approx -2,86$ ;  $\mu_{smax} = 0,5$ ;  $f_g = 0,06$ ;  $L = 4,2m$ ;  $B = 2,8m$ ) przedstawiono wartości zmian przełożeń mechanizmu skrótu oraz stosunek promienia skrótu do rozstawu gąsienic w funkcji przełożenia pomiędzy kołem koronowym a słonecznym lewego szeregu planetarnego ( $i_{ms} = f(i_{d1})$ ;  $R/B = \phi(i_{d1})$ ); - (rys.3).



Rys.3. Wartości zmian  $i_{ms} = f(i_{d1})$ ;  $R/B = \phi(i_{d1})$

Fig.3. Relations between  $i_{ms} = f(i_{d1})$ ; and  $R/B = \phi(i_{d1})$

## 5. WNIOSKI

1. Przeprowadzona analiza pozwala wyznaczyć obciążenia poszczególnych elementów układu napędowego, co jest nieodzowne przy doborze i projektowaniu tego typu pojazdów.
2. Dla pewnych promieni skrótu jeden z szeregów planetarnych przenosi większą moc od dostarczonej przez silnik napędowy pojazdu.
3. Przedstawione zależności pozwalają na dokonanie analizy przepływu mocy bez względu na rodzaj przekładni zastosowanych w strumieniu głównym dopełniającym.
4. Przedstawione opracowanie jest pierwszym etapem prowadzącym do pełnej analizy tego typu układów napędowych. Aktualnie prowadzony jest drugi etap pracy uwzględniający straty mocy w zazębieniach.

## LITERATURA

- [1] Burdziński Z.: Teoria ruchu pojazdu gąsienicowego. WKŁ, Warszawa 1972.
- [2] Chodkowski A.W.: Konstrukcja i obliczanie szybkobieżnych pojazdów gąsienicowych. WKŁ, Warszawa 1990.
- [3] Hilmes R.: Dreissig Jahre Kampfpanzerentwicklung. Soldat u. Technik 2/82.
- [4] Prospekt CAT CHALLENGER 65 f-my Caterpillar (AEHQ 7020 8/88).
- [5] Prospekty f-my ZF AG: Automatisches ZF-Lenk-Schalt-Getriebe: LSG 3000.
- [6] Materiały informacyjne firm: FFG/Teves; MTU; ZF na temat LSG 1000.
- [7] Żebrowski J., Żebrowski Zb.: Model mechanizmu skrętu pojazdu gąsienicowego z podwójnym doprowadzeniem mocy. ZN Pol. Śl., ser. Mechanika, nr 113, Gliwice 1993.
- [8] Żebrowski J., Żebrowski Zb.: Model matematyczny przepływu mocy w przekładni planetarnej o dwóch stopniach swobody. Konf.: Rozwój podstaw budowy, eksploatacji i badań maszyn roboczych ciężkich - w tym budowlanych. 1987, s.55-61.
- [9] Żebrowski J., Żebrowski Zb.: Analiza sprawności układu napędowego z sumującym szeregiem planetarnym i napędem dopełniającym. Konf. Szybkobieżne pojazdy gąsienicowe. Gliwice 1988, s.45-54.

Recenzent: Doc. dr hab. Andrzej Buchacz

Wpłynęło do Redakcji dnia 20.11.1992

## Abstract

The model of a doubly powered turn mechanism discussed in this paper is based on the equations given in [7]. For this model ranges of turn radii are evaluated, see Tab.1. Relations between angular speeds and turning moments of particular elements of a planetary gear are given in (1)-(9). Powers of these elements are expressed by equations (10)-(16). Figure 1 presents flow power charts evaluated for turn radii given in Tab.1. Above characteristic flow power situations, Figs.1-1 - 1-9, are a subject of analysis. Fig.2 illustrates forces, moments and angular speeds and power

flowing through the turn mechanism shown in Fig.1-6. Principle of operation of turn mechanism is described. It is valid for all values of the turn radiuce. For assumed parameters of turn mechanism and track the characteristics  $i_{ms} = f(i_{d1})$  and  $R/B = \phi(i_{d1})$  have been evaluated. They are summarized in Fig.3. The essential conclusions are given at the end of the paper.