

Jacek **BEHRENDT**

WSPÓLCZYNNIKI WYKORZYSTANIA PRZEŁOŻEŃ SKRZYŃ PRZEKŁADNIOWYCH W CZOŁGACH RODZINY T-72

Streszczenie: W opracowaniu przedstawiono metodykę doświadczalnego wyznaczenia współczynników wykorzystania poszczególnych przełożeń skrzyń przekładniowych w czołgach T-72 i pochodnych. Przedstawiono wyniki badań oraz wpływ otrzymanych wartości na tzw. zastępczą liczbę cykli zmian obciążenia.

1. WSTĘP

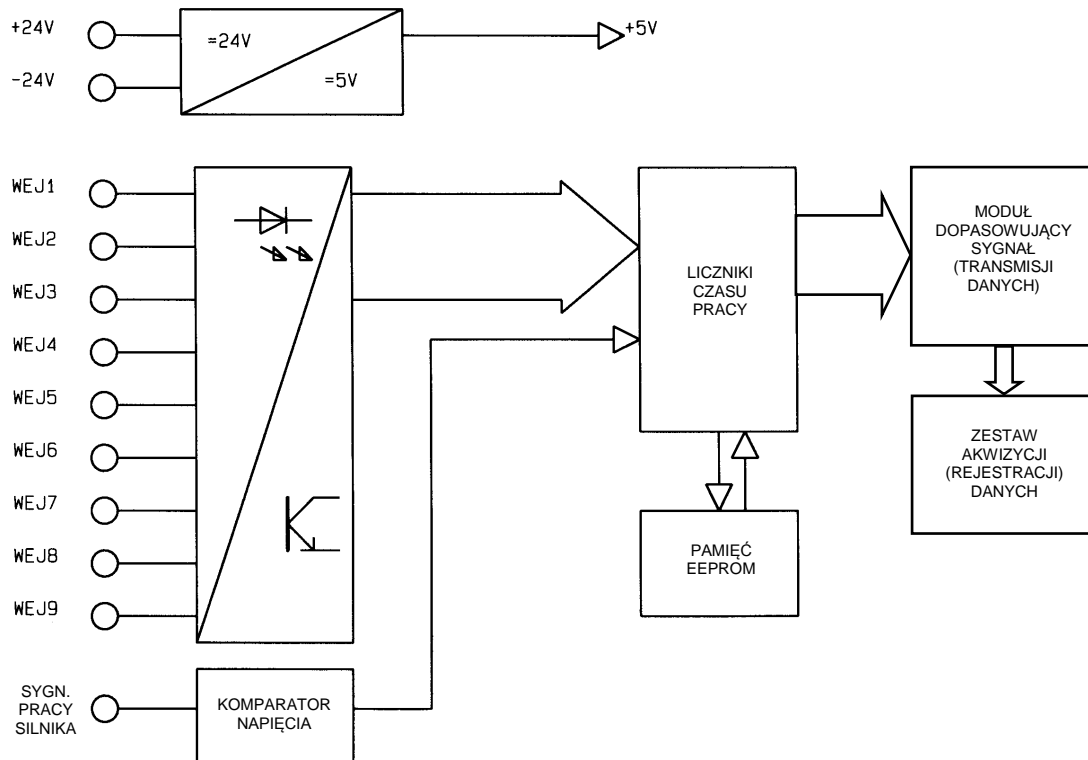
Racjonalna eksploatacja pojazdów mechanicznych jest źródłem oszczędności surowców, energii i nakładów kapitałowych. Istnieje zatem konieczność zwiększenia efektywności eksploatacji pojazdów mechanicznych. Biura konstrukcyjne prowadzą prace w kierunku poszukiwania, opracowania i wdrożenia nowych rozwiązań konstrukcyjnych, zapewniających ich większą niezawodność na współczesnym polu walki. Jednym z bardziej skomplikowanych zespołów konstrukcyjnych czołgów rodziny T-72 są planetarne skrzynie przekładniowe.

Przy prowadzeniu analizy wytrzymałościowej elementów konstrukcyjnych tych wielostopniowych przekładni planetarnych niezwykle istotny jest czas pracy kolejnych rzędów planetarnych, a tym samym czas obciążenia elementów poszczególnych stopni przekładni. Szczególnie istotne jest to przy wykorzystaniu hipotez kumulacji uszkodzeń w zakresie ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej. W takim przypadku wyliczana jest tzw. zastępcza liczba cykli zmian obciążenia. Do jej prawidłowego oszacowania niezbędne są wiarygodne, otrzymane na podstawie badań eksperymentalnych prowadzonych podczas bieżącej eksploatacji czołgów, wartości współczynników wykorzystania poszczególnych przełożeń skrzyń przekładniowych. Projekt skrzyń przekładniowych zastosowanych w czołgu T-72 jest „spadkobiercą” wersji licencyjnej konstrukcji rosyjskiej tego zespołu. Danych literaturowych w tym zakresie nie ma, a stosowane przez ZM „Bumar-Mikulczyce” S.A. i gliwicki OBRUM wartości współczynników są na drodze teoretycznej (drogą aproksymacji, przybliżeń i porównań) pochodną innych wersji przekładni i typów pojazdów na podwoziu gąsienicowym. Wyznaczenie współczynników wykorzystania poszczególnych przełożeń na drodze eksperymentalnej jest szczególnie ważne przy stosowaniu jako zespołu napędowego silników o zwiększonej, w stosunku do bazowego czołgu T-72 mocy (obecnie 850 KM – silnik S 12 U, a w niedalekiej przyszłości silniki o mocy 1000 a nawet 1200 KM). Określone przy ich wykorzystaniu współczynniki bezpieczeństwa uzębień kół zębatych mogą wskazać „słabe” punkty w konstrukcji zespołu, stanowiąc przesłankę i kierunek optymalizacji i ewentualnych zmian konstrukcyjnych tych przekładni.

Przedmiotem badań zrealizowanych w latach 2000-2001 w Wyższej Szkole Oficerskiej im. Stefana Czarnieckiego w Poznaniu było m.in. wyznaczenie na drodze eksperymentalnej wartości współczynników wykorzystania poszczególnych przełożeń skrzyń przekładniowych czołgów rodziny T-72 [1]. Niniejszy artykuł przedstawia metodykę prowadzenia pomiarów oraz prezentuje uzyskane wyniki.

2. METODYKA PROWADZENIA POMIARÓW

W celu otrzymania wartości żądanych współczynników należało w trakcie eksploatacji czołgów określić z możliwie dużą dokładnością czas pracy silnika z wykorzystaniem poszczególnych przełożeń skrzyń przekładniowych. Do tego celu wykorzystano zaprojektowany i wykonany w poznańskiej WSO rejestrator czasu pracy biegów *RCzPB-01* (rys. 1, 2).



Rys.1. Schemat blokowy układu pomiarowego zapewniającego pomiar czasu pracy skrzyń przekładniowych czołgu T-72 i pochodnych na poszczególnych przełożeniach

Kompletny rejestrator składa się z modułu pomiarowego (rys. 3), przewodu transmisyjnego oraz oprogramowania. W jego budowie należy wyróżnić następujące bloki funkcjonalne:

- **blok wejściowy** - jako źródło sygnałów z mikrowyłączników zamocowanych od spodu zębátky wybieraka biegów, a informujących o ich aktualnym stanie (ON/OFF). Dane te są przesyłane za pośrednictwem przewodu do mikrokontrolera poprzez układ transoptorów, zapewniających separację galwaniczną;
- **układ detekcji (sygnalizacji) pracy silnika** zbudowany na bazie komparatora napięcia;
- **układ mikrokontrolera** na bazie układu firmy *Atmel* wraz z pamięcią EEPROM zapewniającym:
 - zliczanie i sumowanie czasu pracy na poszczególnych biegach,
 - zapisanie danych w pamięci EEPROM (czas pracy, numer rejestracyjny czołgu, data rozpoczęcia pomiarów, wejściowy stan liczników: przejechanych kilometrów oraz przepracowanych przez silnik motogodzin),
 - dwukierunkową transmisję z i do rejestratora danych,
 - testowanie stanu pracy silnika.



Rys.2. Rejestrator RCzPB-01 zamontowany w przedziale kierowania czołgu PT-91



Rys.3. Moduł pomiarowy rejestratora RCzPB-01 (po zdjęciu górnej pokrywy)

Moduł zaczyna mierzyć czas pracy na poszczególnych przełożeniach skrzyń przekładniowych od momentu otrzymania sygnału o uruchomieniu silnika czołgu. Błąd pomiaru ma wartość rzędu $\pm 0,2$ sekundy. Po zakończeniu pracy silnika bieżące wskazania liczników są przechowywane w pamięci typu EEPROM i przy następnym uruchomieniu silnika kolejne czasy pracy podlegają zsumowaniu. Dwukierunkowa transmisja sygnałów w standardzie RS 232 pomiędzy modulem a zestawem akwizycji danych (stacjonarny lub przenośny komputer klasy IBM PC) umożliwia programową obsługę modułu pomiarowego. Zasilanie modułu jest z instalacji elektrycznej czołgu i, co należy podkreślić, jego montaż w czołgu w żaden sposób nie ogranicza możliwości czołgu i nie zakłóca realizacji zadań szkoleniowych stawianych przed nim i jego załogą.

Przed przystąpieniem do badań zamontowano w czołgu zespół mikrowyłączników oraz wprowadzono do pamięci modułu pomiarowego rejestratora dane wejściowe dotyczące: numeru rejestracyjnego czołgu, daty rozpoczęcia pomiarów oraz stanu liczników przejechanych kilometrów oraz przepracowanych przez silnik motogodzin. W tym celu napisano z wykorzystaniem języka *Borland Turbo Pascal 7.0* oprogramowanie modułu. Ponadto program umożliwia sprawdzenie poprawności działania mikrowyłączników jak również kasowanie zawartości pamięci EEPROM i zapis danych na nośniku magnetycznym (dyskiecie 1,44 MB). W tym ostatnim przypadku stosowne pliki umieszczane są w automatycznie utworzonym katalogu zgodnym z numerem rejestracyjnym badanego czołgu a nazwy tych plików są tożsame z bieżącą datą systemową komputera. Po wprowadzeniu danych początkowych (rys. 4) moduł zamontowano w przedziale kierowania czołgu i tym samym proces rejestracji danych był rozpoczęty. Możliwa jest oczywiście programowa obsługa modułu bez jego demontażu z czołgu.

```

PROGRAM ODCZYTUJĄCY DANE O CZASIE PRACY POSZCZEGÓLNYCH BIEGÓW
NUMER REJESTRACYJNY - UBC_2334
NUMER SERYJNY      - 2

BIEG 7:      0 [s] ==>      0 [h]  0 [m]  0 [s]
BIEG 6:      0 [s] ==>      0 [h]  0 [m]  0 [s]
BIEG 5:      0 [s] ==>      0 [h]  0 [m]  0 [s]
BIEG 4:      0 [s] ==>      0 [h]  0 [m]  0 [s]
BIEG 3:      0 [s] ==>      0 [h]  0 [m]  0 [s]
BIEG 2:      0 [s] ==>      0 [h]  0 [m]  0 [s]
BIEG 1:      0 [s] ==>      0 [h]  0 [m]  0 [s]
BIEG 0:      0 [s] ==>      0 [h]  0 [m]  0 [s]
BIEG W:      0 [s] ==>      0 [h]  0 [m]  0 [s]
CZAS OGÓLNEJ PRACY SILNIKA:      0.00 [h]
CZAS PRACY POD OBCIĄŻENIEM:     0.00 [h]

          START      KONIEC
DATA POMIARU      :2001:07:13  2001:07:13
STAN LICZNIKA KILOMETRÓW      : 110.7      0.0
STAN LICZNIKA MTG OGÓLNYCH    : 17.30     17.30
STAN LICZNIKA MTG POD OBCIĄŻENIEM: 5.40     5.40

[X]-EXIT      [S]-ZAPIS NA DYSK      [F]-FUNKCJE SPECJALNE

```

Rys. 4. Obraz na ekranie monitora po wprowadzeniu danych początkowych

Przykładowy rezultat pracy rejestratora czasu pracy skrzyń przekładniowych RCzPB-01 w czołgu po kilkudniowej eksploatacji przedstawia rysunek nr 5.

```

PROGRAM ODCZYTUJĄCY DANE O CZASIE PRACY POSZCZEGÓLNYCH BIEGÓW
NUMER REJESTRACYJNY - UBC_2334
NUMER SERYJNY - 2

BIEG 7: 0 [s] ==> 0 [h] 0 [m] 0 [s]
BIEG 6: 0 [s] ==> 0 [h] 0 [m] 0 [s]
BIEG 5: 491 [s] ==> 0 [h] 8 [m] 11 [s]
BIEG 4: 1366 [s] ==> 0 [h] 22 [m] 46 [s]
BIEG 3: 386 [s] ==> 0 [h] 6 [m] 26 [s]
BIEG 2: 143 [s] ==> 0 [h] 2 [m] 23 [s]
BIEG 1: 339 [s] ==> 0 [h] 5 [m] 39 [s]
BIEG 0: 1673 [s] ==> 0 [h] 27 [m] 53 [s]
BIEG W: 236 [s] ==> 0 [h] 3 [m] 56 [s]
CZAS OGÓLNEJ PRACY SILNIKA: 1.29 [h]
CZAS PRACY POD OBCIĄŻENIEM: 0.82 [h]

START KONIEC
DATA POMIARU :2001:07:13 2001:07:17
STAN LICZNIKA KILOMETRÓW : 110.7 0.0
STAN LICZNIKA MTG OGÓLNYCH : 17.30 18.59
STAN LICZNIKA MTG POD OBCIĄŻENIEM: 5.40 6.22

[EXIT]-EXIT [S]-ZAPIS NA DYSK [F]-FUNKCJE SPECJALNE
    
```

Rys.5. Obraz na ekranie monitora odczytany z pamięci EEPROM rejestratora RCzPB-01 po kilkudniowej rejestracji danych pomiarowych

Zbieranie danych pomiarowych realizowano w okresie od października 2000 roku do lipca 2001 roku na sześciu egzemplarzach czołgów rodziny T-72 zabezpieczających proces dydaktyczny słuchaczy Uczelni oraz szkolenie żołnierzy pododdziałów czołgów 1 BPanc (czołgi przejechały w sumie 1064 kilometry a ich jednostki napędowe przepracowały ponad 133 godziny).

3. WYNIKI BADAŃ

W wyniku obserwowanej eksploatacji czołgów rodziny T-72 z zamontowanym rejestratorem RCzPB-01 zebrano dane umożliwiające wyznaczenie przedmiotowych współczynników wykorzystania poszczególnych przełożeń skrzyń przekładniowych w tych czołgach, które przedstawiono w tablicy nr 1. Należy przy tym zaznaczyć, że stosunkowo duża liczba godzin pracy silników czołgowych bez obciążenia (przy neutralnym przełożeniu skrzyń przekładniowych) wynika ze specyfiki zajęć szkoleniowych, które w znacznej części realizowano z wykorzystaniem niektórych czołgów (dotyczy to zajęć ze szkolenia ogniowego realizowanych na strzelnicy czołgowej przez czołgi umieszczone w ww. tablicy odpowiednio pod pozycją nr 2 i 3). Przełożenia VI i VII są, ze względu na warunki terenowe występujące na drogach poligonowych, wykorzystywane bardzo sporadycznie. Opory ruchu są tak duże, że kierowcy czołgów używają do jazdy do przodu właściwie tylko przełożeń od I do V. Jazda na VII przełożeniu, przy dodatniej wartości przyspieszenia jazdy czołgu jest na podstawie czysto teoretycznych zależności [3] wręcz niemożliwa, ze względu na niedobór siły napędowej uwarunkowany zbyt niską wartością wskaźnika mocy jednostkowej czołgów rodziny T-72.

Tablica 1. Wyniki pomiarów czasu pracy skrzyń przekładniowych czołgów rodziny T-72

Parametr	Marka testowanego czołgu					
	1. T-72 A	2. T-72 A	3. T-72 M1	4. T-72 M1	5. PT-91	6. PT-91
Wsteczny [%]	10,04	3,48	3,23	12,45	5,79	8,51
Neutralny [%]	35,44	69,08	72,79	34,28	24,59	29,61
I [%]	8,70	5,69	4,84	9,07	5,76	6,57
II [%]	9,29	8,95	7,89	8,87	6,33	5,78
III [%]	13,76	6,63	7,25	12,52	13,00	11,42
IV [%]	15,54	5,20	2,90	17,73	31,03	25,83
V [%]	7,23	0,97	1,10	5,08	12,89	11,02
VI [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	1,13
VII [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,13
Całkowity czas pracy silnika ogół./obciąż. [mtg]	7,9/5,1	20,7/6,4	40,8/11,1	3,5/2,3	43,1/32,5	17,9/12,6
Całkowita liczba przejechanych kilometrów [km]	61,0	100,2	99,1	11,0	537,4	255,4

Przy uwzględnieniu procentowego udziału czasu pracy silników poszczególnych czołgów w czasie rejestracji pomiarów wyznaczono współczynniki wykorzystania poszczególnych przełożeń skrzyń przekładniowych dla czołgów rodziny T-72. Otrzymane wyniki, pomijając z oczywistych względów przełożenie neutralne skrzyń przekładniowych - przedstawiono w tablicy nr 2.

Tablica 2. Współczynniki wykorzystania przełożeń skrzyń przekładniowych czołgów rodziny T-72

Lp.	Przełożenie	Wartość współczynnika wykorzystania ε [%]		
		dotychczas stosowana	otrzymana na podstawie badań	przyjęta przez autora do dalszych obliczeń wytrzymałościowych
1	2	3	4	5
1.	Wsteczny	5	10,4	10
2.	I	5	11,1	10
3.	II	5	14,1	14
4.	III	10	19,3	20
5.	IV	15	31,5	30
6.	V	30	12,8	14,8
7.	VI	20	0,7	1
8.	VII	10	0,1	0,2

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania pozwoliły na drodze doświadczalnej wyznaczyć współczynniki wykorzystania poszczególnych przełożeń skrzyń przekładniowych w czołgach średnich rodziny T-72. Przyjęta metodyka prowadzenia pomiarów okazała się słuszną a otrzymane wyniki odbiegają od wartości dotychczas stosowanych przez konstruktorów. Prowadząc obliczenia wytrzymałościowe uzębień kół zębatach przekładni zgodnie z zaleceniami normy DIN 3990/4 należy uwzględnić zmienne obciążenia poszczególnych stopni skrzyń przekładniowych, a przy wyznaczaniu zastępczej liczby cykli zmian obciążenia sumując cykle zmian obciążenia należy uwzględnić jedynie składowe momentu obrotowego o wartości większej lub równej połowie maksymalnego momentu uwarunkowanego stosowaną jednostką napędową. Po podstawieniu otrzymanych wartości liczbowych współczynników wykorzystania poszczególnych przełożeń skrzyń przekładniowych zgodnie z wartościami zamieszczonymi w kolumnie piątej tablicy nr 2 należy stwierdzić wzrost w stosunku do stosowanych dotychczas wartości z kolumny trzeciej wartości zastępczych liczb cykli zmian obciążenia kół słonecznych stopnia drugiego, trzeciego i czwartego skrzyń przekładniowych odpowiednio o 30, 114 i 110 %. Tylko dla kół obiegowych stopnia pierwszego wyznaczone w ten sposób wartości zastępczej liczby cykli zmian obciążenia uległy zmniejszeniu o około 30 %.

5. LITERATURA

- [1] BEHRENDT J.: Wyznaczenie współczynników wykorzystania przełożeń skrzyń przekładniowych, a wytrzymałość zmęczeniowa zespołów układu przeniesienia mocy czołgu T-72 i pochodnych. Sprawozdanie z realizacji pracy naukowo-badawczej, WSO, Poznań 2001.
- [2] BOGDANOWICZ Z.: Wytrzymałość kół zębatach skrzyni biegów pojazdu gąsienicowego uwarunkowana geometrią narzędzia obróbczego. Materiały VI Sympozjum IPM, Rynia 1996.
- [3] BURDZIŃSKI Z.: Teoria ruchu pojazdu gąsienicowego. WKiŁ, Warszawa 1972.
- [4] CHODKOWSKI A.W.: Konstrukcja i obliczanie szybkobieżnych pojazdów gąsienicowych. WKiŁ, Warszawa 1990.
- [5] CHODKOWSKI A.W.: Badania modelowe pojazdów gąsienicowych i kołowych. WKiŁ, Warszawa 1982.
- [6] DAJNIAK H.: Ciągniki. Teoria ruchu i konstruowanie. WKiŁ, Warszawa 1985.
- [7] DREWNIAK J.: Badanie wytrzymałości zmęczeniowej zębów kół zębatach wg zaleceń normy ISO/DIS 6336/5. Przegląd Mechaniczny, nr 6, 1995.
- [8] KOCAŃDA S., SZALA J.: Podstawy obliczeń zmęczeniowych. PWN, Warszawa 1997.
- [9] MÜLLER L., WILK A.: Zębatach przekładnie obiegowe. PWN, Warszawa 1996.
- [10] MYDLARZ J.: Analiza awaryjności elementów skrzyni biegów, przekładni pośredniej oraz przekładni bocznych czołgu T-72. , ZM „Bumar-Mikulczyce” S.A., Zabrze 1995.

GEAR RATIO UTILIZATION FACTORS OF GEARBOXES OF T-72 TANKS FAMILY

Abstract: The study presents the methodology of experimental determination of gear ratio utilization factors in gearboxes T-72 family tanks. The paper presents the results of research and impact of the values obtained on the so-called virtual number of load change cycles.

Recenzent: dr inż. Wojciech ZAJLER