

# Zastosowanie algorytmu genetycznego do poprawy unifikacji typoszeregu wielostopniowych przekładni zębatych

## Application of genetic algorithm for unification improvement of series of types of multi-stage gears

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.  
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.181

MAREK PRASZKIEWICZ \*

Artykuł przedstawia nową metodę tworzenia typoszeregu wielostopniowych przekładni zębatych. Nie jest ona oparta na zasadach podobieństwa. Celem było uzyskanie maksymalnej unifikacji elementów zębatych przy równoczesnym zachowaniu lub zwiększeniu przenoszonej mocy. Do rozwiązania problemu wykorzystano algorytm genetyczny. **SŁOWA KLUCZOWE:** przekładnie zębate, typoszereg, unifikacja, algorytm genetyczny

*In the paper, new creation method of series of types of multi-stage gears was presented. The method is not based on the rules of similarity. The aim was to achieve the maximal unification of geared pairs, simultaneously preserving or increasing the transmitted power. The dedicated genetic algorithm was used for solution of the discussed task.*

**KEYWORDS:** gears, series of types, unification, genetic algorithm

### Typoszeregi przekładni zębatych

Wielostopniowe przekładnie zębate są powszechnie stosowane w przemyśle ze względu na prostą konstrukcję i korzystną cenę. Producenci oferują przekładnie o szerokim zakresie przełożeń i mocy. Aby ograniczyć koszty produkcji i projektowania, tworzą typoszeregi o regularnie stopniowanych wielkościach i przełożeniach. Każda jednostka takiego typoszeregu powstaje przez złożenie kilku (2÷4) par zębatych dla uzyskania pożądanego przełożenia całkowitego.

Tradycyjnie, tworząc taki typoszereg, korzysta się z zasad podobieństwa, które pozwalają ograniczyć ilość prowadzonych obliczeń oraz uprościć proces tworzenia dokumentacji konstrukcyjnej. Po ustaleniu korzystnego układu przełożeń dla jednej wielkości przekładni pozostałe tworzy się poprzez skalowanie, wykorzystując podobieństwo geometryczne. Niezależnie od wielkości przekładni przełożenie całkowite jest więc zawsze tworzone w ten sam sposób. Rozwiązanie takie jest dalekie od optymalnego, gdyż wymaga stosowania dużej liczby różnych par zębatych, a dodatkowo nie uwzględnia przypadków odbiegających od praw podobieństwa.

Duża liczba stosowanych par zębatych wynika wprost z zastosowania zasady podobieństwa. Jeżeli projektuje się typoszereg o 10 wielkościach, to każda zastosowana para zębata musi zostać wykonana również w co najmniej 10 wielkościach. Aby ograniczyć liczbę produkowanych par zębatych, trzeba zrezygnować ze stosowania zasady podobieństwa w tworzeniu typoszeregu i dowolnie dobierać układ przełożeń dla każdej wielkości.

Nie jest możliwe zaprojektowanie przekładni zgodnie z zasadami podobieństwa. Zastosowanie znormalizowanych wartości modułów wyklucza dokładne skalowanie pary zębatej. Dlatego przekładnie o różnych wielkościach i tym samym przełożeniu nominalnym mogą się dość znacznie różnić

geometrią zazębienia. Może to powodować znaczne różnice w rzeczywistym przełożeniu i mocy przenoszonej przez daną parę zębata.

Konieczne jest więc opracowanie metody tworzenia typoszeregu, która nie będzie miała wspomnianych wad, a więc pozwoli na:

- ograniczenie liczby stosowanych par zębatych przez zastosowanie dowolnego układu przełożeń dla każdej wielkości przekładni,
- unikanie par zębatych o obniżonej wytrzymałości, a preferowanie tych, których wytrzymałość wynosi powyżej przeciętnej.

### Kryteria optymalizacji

Cele, które należy osiągnąć, są wzajemnie sprzeczne. Ograniczanie liczby par zębatych musi spowodować odstępstwa od optymalnego rozdziału przełożenia na poszczególne stopnie, co może doprowadzić do obniżenia nośności przekładni. Z tego powodu konieczne jest zdefiniowanie dwóch kryteriów optymalizacji:

- kryterium unifikacyjnego,
- kryterium wytrzymałościowego.

Kryterium unifikacyjne definiowano na kilka sposobów, starając się poprawić działanie metody:

#### 1. Osiągnięcie minimalnej liczby stosowanych par zębatych.

Pozwala na uzyskanie bardzo małej liczby par, ale nie rozróżniając ich wielkości doprowadza do sytuacji, w której produkcja dodatkowej pary kół jest traktowana tak sama niezależnie od jej wielkości i kosztu.

#### 2. Osiągnięcie minimalnej objętości stosowanych par zębatych.

Preferuje unifikację par o dużych gabarytach.

#### 3. Osiągnięcie minimalnego szacunkowego kosztu par zębatych w całym typoszeregu.

Wersja trzecia spełnia te wymagania poprzez wyznaczenie szacunkowego kosztu wykonania pary zębatej ze wzoru:

$$K_{a,u} = V_{a,u} \cdot N^{-C} \quad (1)$$

gdzie:  $K_{a,u}$  – szacunkowy koszt produkcji pary o wielkości i przełożeniu,  $V_{a,u}$  – objętość kół pary o wielkości i przełożeniu,  $N^{-C}$  – współczynnik obniżający koszt produkcji ze wzrostem liczby sztuk.

Kryterium optymalizacyjnym była suma kosztów dla wszystkich stosowanych par zębatych

$$K = \sum_a \sum_u K_{a,u} \quad (2)$$

Kryterium wytrzymałościowe definiowano w dwóch następujących wariantach:

\* Dr inż. Marek Praszkiwicz (mpraszkiwicz@ath.bielsko.pl) – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

1. Jako średni stosunek momentu wyjściowego do trzeciej potęgi wielkości ostatniego stopnia:

$$W = \frac{\sum_i \frac{M_{wyj}}{a_i^3}}{n} \quad (3)$$

2. Jak poprzednio, lecz z zastosowaniem dodatkowej funkcji oceny, takiej aby przekładnie o parametrach gorszych od przeciętnych otrzymywały wynik 0. Zmiana taka pozwalała wyeliminować z rozwiązań pojedyncze przekładnie, które nie znalazłyby nabywców. W pierwszym wariancie pojedyncza przekładnia zbyt słabo wpływała na średni wynik całego typoszeregu.

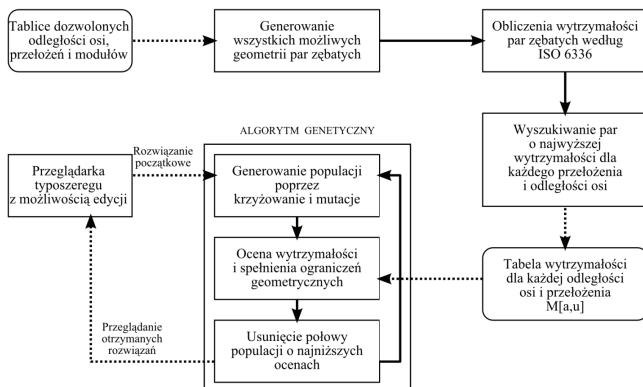
### Wyznaczanie wytrzymałości przekładni

Maksymalny moment przenoszony przez przekładnie można obliczyć, gdy znane są: maksymalny moment dla każdego stopnia oraz przełożenia poszczególnych stopni. Zakładając znormalizowane odległości osi, przełożenia i moduły par zębatach, wygenerowano wszystkie możliwe geometrie ząbienia. Dla każdej z nich wyznaczono maksymalny przenoszony moment według normy ISO-6336. Pozwoliło to na wskazanie najkorzystniejszej geometrii dla każdej odległości osi i każdego przełożenia. Tablica momentów wyjściowych w funkcji odległości osi i przełożenia posłużyła do budowy przekładni wielostopniowych i wyznaczenia ich nośności.

### Zastosowanie algorytmu genetycznego

Do optymalizacji przyjęto typoszereg przekładni walcowych, dwu-, trzy- i czterostopniowych o przełożeniach z szeregu R20 od 6,3 do 400 (37 przełożeń) oraz wielkościach (odległościach osi ostatniego stopnia) od 280 do 800 mm (10 wielkości). Daje to razem 370 przekładni i 1090 stopni. Każdy stopień mógł mieć przełożenie wybrane z szeregu R20 w zakresie od 1,60 do 6,30 (13 możliwych przełożeń). Daje to łącznie 680 tysięcy możliwych kombinacji przełożeń dla każdej wielkości. Całkowita liczba możliwych rozwiązań wynosi ok.  $10^{58}$ , co wyklucza sprawdzenie wszystkich możliwości. Nie jest możliwe optymalizowanie kolejno poszczególnych wielkości lub jednostek typoszeregu, gdyż kryterium unifikacyjne wiąże je razem. Dlatego do doboru przełożeń poszczególnych stopni zastosowano algorytm genetyczny. Pełny schemat blokowy przedstawiono na rys. 1.

Kodem genetycznym budowanego typoszeregu były odległości osi dla każdej wielkości przekładni i indeksy (numery w szeregu R20) przełożeń stopni dla wszystkich jednostek. Początkowo przy pomocy edytora stworzono kilka typoszeregów zgodnych z zasadami podobieństwa, które zostały użyte jako punkt wyjściowy do optymalizacji. W każdym kroku optymalizacji generowano populację złożoną z 10 000

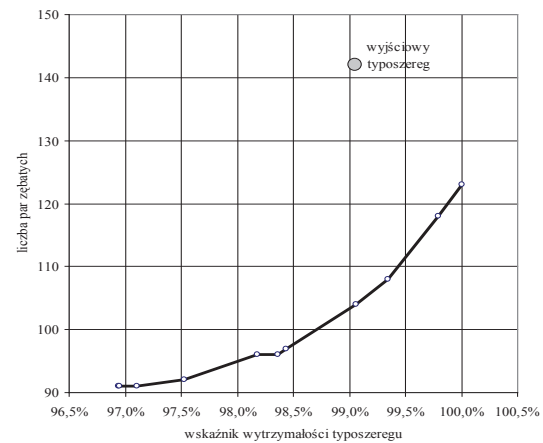


Rys. 1. Schemat blokowy obliczeń

typoszeregów, wykorzystując krzyżowanie posiadanych rozwiązań i losowe mutacje. Wykorzystanie wstępnie obliczonych wytrzymałości stopni walcowych pozwoliło na znaczne przyspieszenie obliczeń. W ciągu minuty generowano 50÷200 pokoleń w zależności od użytego komputera. Cały proces ewolucji prowadzono kilka godzin, co nie jest długim czasem w stosunku do procesu projektowania typoszeregu. Podczas obliczeń tworzony był wykres funkcji celu, pozwalający ocenić, czy nadal następuje poprawa znalezionych rozwiązań.

### Uzyskane wyniki

W rezultacie zastosowania opisanej metody uzyskano typoszereg przekładni wielostopniowych o wyraźnie ograniczonej liczbie par zębatach, a jednocześnie o wyższej wytrzymałości. Zmieniając odpowiednio wagi przypisane do kryteriów optymalizacji (unifikacja-wytrzymałość), można uzyskać typoszeregi o różnym stopniu unifikacji. Na rys. 2 przedstawiono wpływ unifikacji typoszeregu na jego wytrzymałość. Warto zauważyć, że znaczna poprawa unifikacji daje się połączyć z niewielkim wzrostem wytrzymałości.



Rys. 2. Porównanie uzyskanych wyników z typoszeregiem o jednakowym układzie przełożeń dla wszystkich wielkości

### Podsumowanie

W obecnej wersji przedstawiona metoda pozwala na tworzenie typoszeregów znacznie lepszych niż przy wykorzystaniu zasad podobieństwa. Największym problemem wydaje się przekonanie doświadczonych konstruktorów do nowego sposobu budowy typoszeregu. W czasach komputerowego generowania dokumentacji technicznej stała lista przełożeń, której pracownicy uczą się na pamięć, nie jest już konieczna, a zwiększona unifikacja części pozwala ograniczyć koszty produkcji i eksploatacji.

Możliwe jest uzupełnienie proponowanej metody o informacje dotyczące planowanej wielkości produkcji dla poszczególnych jednostek typoszeregu. Dzięki temu częściej produkowane przekładnie mogą uzyskać lepsze parametry, a pozostałe mogą wykorzystywać wspólne pary dla ograniczenia kosztów.

Algorytm genetyczny doskonale nadaje się do rozwiązywania bardzo złożonych problemów unifikacyjnych i optymalizacyjnych. W przypadku bardziej złożonych problemów umożliwi on również bardzo łatwe rozdzielanie problemu na wiele komputerów w celu rozwiązywania równoległego.

### LITERATURA

- Danel T., Drewniak J., Praszkiwicz M., Rysiński J. „Wspomagane komputerowo projektowanie typoszeregów przekładni zębatach”. Bielsko-Biała: Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku-Białej, 2000.
- Jaśkiewicz Z., Wąsiewski A. „Przekładnie walcowe. Geometria – Wytrzymałość – Dokładność wykonania”. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 1992.