

SPOSÓB ELIMINOWANIA BŁĘDÓW OSIOWANIA UKŁADU PRZEKAZYWANIA NAPĘDU POJAZDU SZYNOWEGO

Bolesław PRZYBYLIŃSKI

Wydział Mechaniczny, Akademia Techniczno-Rolnicza, Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów
Bydgoszcz, Kaliskiego 7 (052) 3408206, przyb@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W pracy omówiono podstawowe problemy związane z osiowaniem układów przeniesienia mocy pojazdów samochodów i autobusów oraz pojazdów szynowych. Zaproponowano rozwiązanie techniczne osiowego ustawienia źródła napędu i układu jego odbioru.

Słowa kluczowe: układ przekazywania napędu, autobus szynowy

METHOD OF ELIMINATION OF ALIGNMENT ERRORS IN THE DRIVE TRANSMISSION SYSTEM OF RAIL VEHICLES

Summary

The study discusses basic problems connected with alignment of drive transmission systems of cars, buses and rail vehicles. It suggests a technical solution consisting of aligned setting of the prime mover and its reception system.

Keywords: drive transmission system, rail vehicles

1. WPROWADZENIE

Układy napędowe samochodów ciężarowych i autobusów oraz pojazdów szynowych zbudowane są z trzech głównych składowych: źródła napędu (silnika), układu przekazywania napędu oraz układu odbioru napędu (kół jezdnych w przypadku pojazdów drogowych i wózka kołowego w przypadku pojazdu szynowego).

Kinematyka, dynamika i funkcjonalność układów przeniesienia napędu we współczesnych pojazdach użytkowych powodują, że układy te spełniać muszą wysokie wymagania związane ze zdolnością do przenoszenia określonego momentu obrotowego w warunkach statycznych i dynamicznych, muszą zapewniać możliwość pracy przy różnych kątach i odległościach ustawienia silnika i układu odbioru napędu, zachowywać odpowiednią dla danego zastosowania trwałość węzłów łożyskowych w przegubach i łożyskach podporowych (pośrednich) oraz ogólną trwałość i niezawodność, charakteryzować się jak najniższym masowym momentem bezwładności oraz niewyrównoważeniem co umożliwić ma m.in. cichobieżną pracę, wymagać minimalnych czynności obsługowych, nie stwarzać problemów w montażu, transporcie i magazynowaniu.

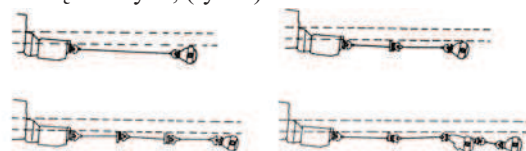
Budowa nowych pojazdów drogowych (np. autobusy) i szynowych (np. tramwaje, szynobusy) produkowanych przez prywatne firmy powoduje, iż układy napędowe tych pojazdów charakteryzują się dużą różnorodnością wykonania wynikającą z poszukiwań przez konstruktorów i technologów

optymalnych (cenowo, trwałościowo, itd.) rozwiązań. Wdrożenie tych rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych do eksploatacji skutkuje potrzebą monitorowania ich montażu i eksploatacji.

2. OSIOWANIE UKŁADU PRZEKAZYWANIA NAPĘDU POJAZDU

Przeniesienie mocy pomiędzy silnikiem a układem odbioru realizowane jest za pomocą wału napędowego i łączników (sprzęgieł).

Wał napędowy jest urządzeniem służącym do przeniesienia momentu obrotowego na pewną odległość do kolejnych, oddalonych od siebie zespołów układu napędowego. W zależności od rodzaju pojazdu i jego przeznaczenia, stosuje się od jednego do kilku wałów jedno- lub wieloczęściowych, (rys. 1).



Rys. 1. Podstawowe układy wałów napędowych samochodów ciężarowych [1]

Ze względu na to, że źródło napędu (np. silnik, skrzynia biegów) połączone jest elastycznie z resorowaną ramą pojazdu lub nadwoziem samonośnym, a koła jezdne należą do masy nieresorowanej, charakterystyka drgań obu tych mas jest całkowicie odmienna. Powoduje to stałe

i nieregularne przemieszczenia obu mas, a zatem nie można połączyć ich sztywnym wałem napędowym.

Niezależne przemieszczanie się względem siebie obu wymienionych mas w pionie i poziomie w stosunku do podłoża oraz zmieniająca się odległość między nimi powoduje konieczność konstruowania wałów umożliwiających kompensację długości.

Konieczne jest zastosowanie również odpowiednich przegubów, które podzielić można na dwie podstawowe grupy - proste albo nierównobieżne, asynchroniczne (np. przeguby Cardana i elastyczne) oraz równobieżne albo synchroniczne, homokinetyczne (przeguby Weissa, Rzeppa, Birfielda, trójramienne, zawiasowe).

Różnica między przegubami asynchronicznymi a synchronicznymi polega na tym, że w pierwszym przypadku przy założonej stałej prędkości kątowej wału na wejściu przegubu, po załamaniu momentu obrotowego wał wyjściowy wykazuje zmienną sinusoidalnie prędkość kątową. W przypadku drugim, przy założonej stałej prędkości kątowej wału na wejściu przegubu, po załamaniu momentu obrotowego wał wyjściowy będzie w dalszym ciągu obracał się ze stałą prędkością kątową.

W układach napędowych samochodów ciężarowych, autobusów oraz pojazdów szynowych wykorzystuje się rurowe wały z przegubami Cardana (rys. 2).

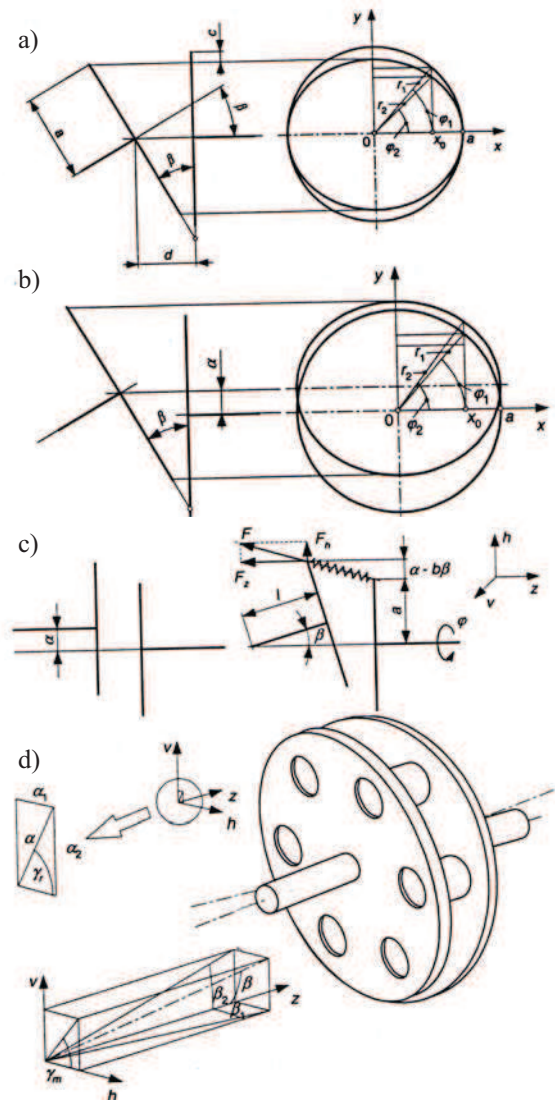


Rys. 2. Wał z przegubami Cardana: 1-widełkowo-wielowypustowy wał rurowy, 2-krzyżak, 3-tarcza przegubu, 4- widełkowo-wielowypustowy wał pełny

Te rozwiązania spełniają większość wymagań dotyczących funkcjonalności wałów napędowych, mimo podstawowej wady przegubów Cardana, jaką jest nierównobieżność występująca wówczas, gdy oś wałów współpracujących są nachylone do siebie pod kątem (przekoszone) lub przesunięte (rys. 3).

Nierównomierność ma ujemny wpływ nie tylko na kinematykę przegubu, ale także na jego trwałość i cechy użytkowe. Stopień nierównobieżności

przegubu Cardana zależy od kąta załamania wałów β oraz kąta obrotu wału napędzającego φ_1 (rys. 3a).

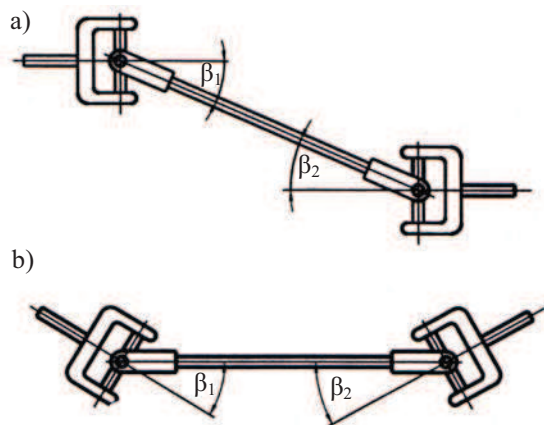


Rys. 3. Schemat połączenia dwóch wałów o osiach: a) przekoszonych o kąt β , b) przekoszonych o kąt β i przesuniętych o odległość α ; c) przekoszonych niecentralnie; d) przekoszonych i przesuniętych w różnych płaszczyznach: α_1 - przesunięcie równoległe osi wałów w płaszczyźnie poziomej, α_2 - przesunięcie równoległe osi wałów w płaszczyźnie pionowej, α - mimośród niewspółśrodkowości tarcz sprzęgła, β_1 - kąt przekoszenia osi wałów w płaszczyźnie poziomej, β_2 - kąt przekoszenia osi wałów w płaszczyźnie pionowej, β - przestrzenny kąt przekoszenia osi wałów [2]

Określa ją zależność między prędkością wału napędzającego ω_{wej} a prędkością kątową wału napędzanego ω_{wyj} :

$$\omega_{wyj} = \omega_{wej} \frac{\cos \beta}{\sin^2 \varphi_1 + \cos^2 \varphi_1 \cos^2 \beta} \quad (1)$$

Nierównobieżność przegubu Cardana jest niwelowana poprzez odpowiedni dobór i montaż wałów, a podstawowymi technikami montażu wałów są: tzw. montaż „typu Z” oraz montaż typu „W” (rys. 4).



Rys. 4. Techniki montażu wałów niwelujące nierównobieżność: a) montaż typu „Z”, b) montaż typu „W” [1]

Obydwa sposoby powodują całkowite zniwelowanie zjawiska nierównobieżności przy jednoczesnym zachowaniu trzech warunków:

- $\beta_1 = \beta_2$
- widełki przegubów wału pośredniego pozostają w jednej płaszczyźnie,
- osie wału napędzającego i napędzanego pozostają w jednej płaszczyźnie.

W przypadku niespełnienia ostatniego z warunków (układ wałów przestrzenny) należy zadbać o to, aby wystąpiła równość kątów załamania w poszczególnych (wzajemnie prostopadłych) płaszczyznach.

Powyższe sposoby niwelowania nierównomierności prędkości kątowych dotyczą przypadków, gdy wały i przeguby są położone względem siebie niezmiennie. Dla pojazdów drogowych i szynowych taka sytuacja, ze względu na ugięcia elementów zawieszenia, nie występuje. Dlatego też, aby w jak najszerszym zakresie ugięć utrzymać nierównobieżność na możliwie niskim poziomie, istotny jest odpowiedni dobór wałów, zwłaszcza pod względem ich długości oraz liczby części i elementów (łożysk) podporowych. Istotne jest również minimalizowanie pola tolerancji współosiowości wałka odbioru mocy silnika (przekładni) i wałka układu jezdnego oddalonego od źródła napędu niekiedy o kilka metrów.

3. PRZYRZĄD DO WSPÓŁOSIOWEGO USTAWIANIA WAŁU POŚREDNIEGO Z SILNIKIEM I WÓZKIEM AUTOBUSU SZYNOWEGO

Autobus szynowy produkcji Pojazdy Szynowe PESA Holding S.A. w Bydgoszczy jest nowoczesnym kolejowym środkiem transportu

pasażerskiego. Układ napędowy tego szynobusa przedstawia się następująco.

Silnik spalinowy autobusu szynowego napędza 4 koła jezdne, będące zablokowanymi w wózku, poprzez układ przeniesienia napędu (rys. 5) składający się z: wału sprzęgłowego zabudowanego w silniku 1 połączonego z tarczą przechodzącą z drugiej strony w widełki 2 obejmujące krzyżowy łącznik sprzęgła Cardana. Drugą parę łącznika krzyżowego (sworznia zdwojonego) obejmują widełki tulei odbiorczej 3 połączonej ślizgowo wielowypustem z wałem 4 zakończonym widełkami obejmującymi kolejny zdwojony sworznię. Drugą parę tego łącznika krzyżowego obejmują widełki 2 kolejnego łącznika zakończonych tarczą. Ta część układu przekazywania mocy składa się z elementów zakupionych u profesjonalnego producenta przegubów napędowych. Dalszy przebieg przekazywania mocy odbywa się za pośrednictwem wału pośredniego będącego oryginalnym rozwiązaniem producenta autobusu szynowego.

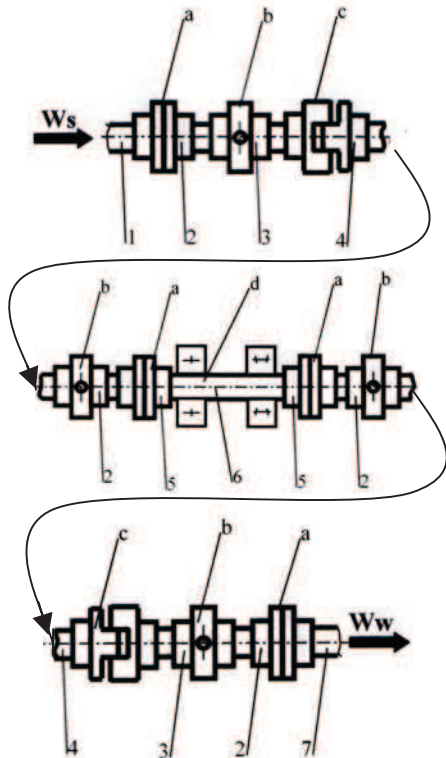
Pierwszym elementem wału pośredniego jest tarcza wału 5 ustalona z tarczą łącznika przegubu krzyżowego i połączona rozłącznie pasowanymi łącznikami śrubowymi. Tarcza wału osadzona jest połączeniem wielowypustowym na końcówce wału, która połączona jest w sposób nierozłączny (spawaniem) z rurą. Z drugą końcówką rury w sposób analogiczny połączona jest druga końcówka wału, na której osadzona jest tarcza wału, z którą połączona jest śrubami pasowanymi tarcza przegubu Cardana. Dalsze przekazywanie napędu odbywa się za pomocą profesjonalnych przegubów napędowych, z których ostatni element połączony jest z tarczą odbioru mocy 7 wózka jezdnego. Wspomniany wcześniej wał pośredni to zestaw części składający się z samego wału, łożysk tocznych oraz opraw łożysk z obudową. Wał pośredni o masie około 108 kg połączony jest ze wspornikami podwozia autobusu szynowego za pomocą 4 amortyzatorów.

Analiza konstrukcyjna układu napędowego autobusu szynowego wykazuje, że raczej niemożliwe jest osiągnięcie współosiowości wału wyjściowego z silnika Ws z wałem wejściowym wózka Ww (rys. 5). W praktyce wystąpić mogą (wynikające, np. z błędów montażu, na skutek normalnego zużycia czy też w wyniku awarii) różne przypadki niewspółosiowości.

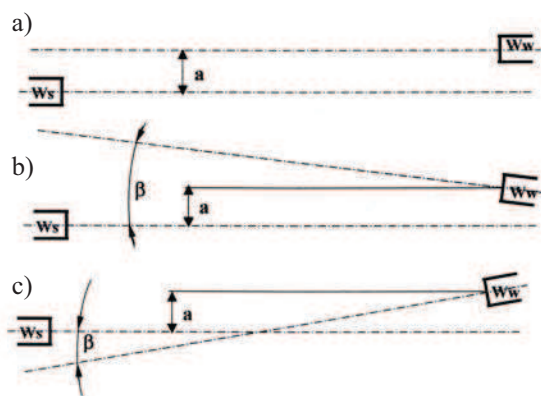
Na rys. 6 przedstawiono schematycznie trzy z nich (zakładając współosiowość wału silnika Ws z podłużnicą autobusu), które mogą wystąpić w płaszczyźnie poziomej. Podobnie można rozpatrzeć przypadki w płaszczyźnie pionowej i w sumie uzyskać przestrzenny układ niewspółosiowości wału silnika Ws i wału wózka Ww.

Niewspółosiowość wału silnika Ws i wału wózka Ww oraz zamontowanie jeszcze niewspółosiowo wału pośredniego skutkuje tym, że układ napędowy podlega dodatkowym momentom gnącym i siłom tnącym. Zastosowane wały przegubowe VOITH-a

nie w pełni te dodatkowe obciążenia niwelują. Z tego względu na etapie montażu poszczególnych zespołów układu napędowego autobusu szynowego należy dążyć do uzyskania ich współosiowości.



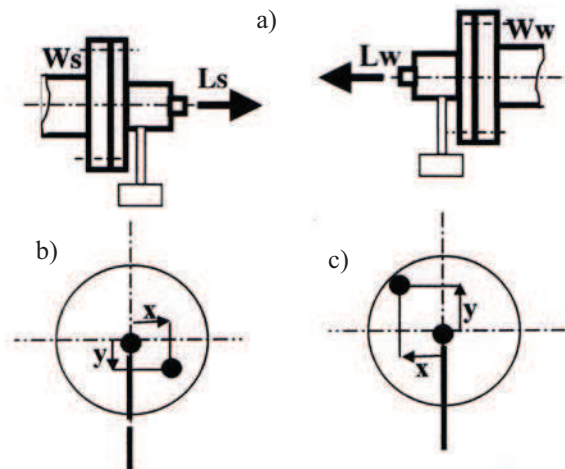
Rys. 5. Układ przeniesienia napędu autobusu szynowego: a) sprzęgło tarczowe rozłączne, b) sprzęgło Cardana, c) sprzęgło teleskopowe, d) wał pośredni; 1- wałek sprzęgłowy silnika, 2-tarczowo-widelkowy element przegubu Cardana, 3- tarczowo-tulejowy (wielowypustowy) element przegubu Cardana, 4- tarczowoczopowy element przegubu Cardana, 5- tarcza wału, 6- wał rurowy z czopami wielowypustowymi, 7- tarcza wału



odbiornika (wózek)
 Rys. 6. Schematyczne przedstawienie rzeczywistego ustawienia wałów silnika Ws i wózka Ww w płaszczyźnie poziomej: a) przesunięcie, b) i c) przesunięcie z przekoszeniem: a- wielkość przesunięcia, β - kąt przekoszenia

Dla tych celów przedstawiono poniżej laserowy przyrząd ustawczy (montażowy) LPU [3] do współosiowego ustawienia wału pośredniego z wałem silnika i wałem wózka, czyli przyrząd umożliwiający osiągnięcie stanu $a=0$ (rys. 6a).

Na etapie montowania tych zespołów, oddalonych od siebie o prawie 3,5 metra, koniecznym jest więc możliwość kontroli tej osiowości. Należy więc zarówno w płaszczyźnie poziomej jak i pionowej (po uruchomieniu autobusu szynowego i podniesieniu na poduszkach powietrznych) uzyskać „pokrywanie się” osi Ws i Ww. W proponowanym rozwiązaniu do takiej kontroli wykorzystano właściwości światła monochromatycznego (laserowego). Układ pomiarowy składa się z dwóch tarcz ze wskazówkami pionu osadzonych, jedna na wale wyjściowym silnika a druga na wale wejściowym wózka, z centralnie umieszczonym źródłem światła laserowego (czerwonego) o długości fali 650 nm i mocy 5 mW. Przy współosiowym wstawieniu Ws i Ww wiązki światła laserowego winny przebiegać po tej samej linii. W przeciwnym przypadku na tarczy zamontowanej na wale silnika pojawi się czerwona plamka wysłana z lasera wózka, a na tarczy zamontowanej na wale wózka pojawi się plamka wysłana przez laser silnika (rys. 7).

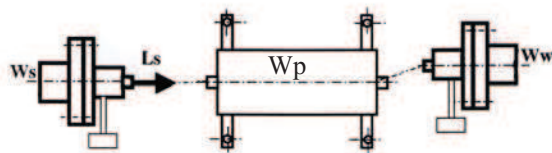


Rys. 7. Pomiar współosiowości wałów silnika Ws i wózka Ww: a) idea pomiaru, b) przykładowe położenie plamki na tarczy wózka od lasera zamontowanego na tarczy silnika, c) przykładowe położenie plamki na tarczy silnika od lasera zamontowanego na tarczy wózka; Ls – laser silnika, Lw – laser wózka

Dokonując pomiaru odległości plamki od pionu y lub poziomu x środka wału silnika lub wózka można określić wzajemne położenie w płaszczyźnie pionowej i poziomej osi tych wałów oraz dążyć do minimalnych (najlepiej zerowych) wartości parametrów x i y.

Poważną trudnością montażową jest ustalenie wału pośredniego w osi wałków silnika i wózka. Związane jest to z zapewnieniem odpowiedniego

położeniem osi otworów wsporników podwozia służących do mocowanie poprzez amortyzatory wał pośredni do podwozia autobusu szynowego (zakładając, że obudowa wału pośredniego jest prawidłowo wykonana, tj. belki wału pośredniego leżą w jednej płaszczyźnie, a osie otworów pod amortyzatory są wierzchołkami prostokąta).



Rys. 8. Idea wyznaczenia położenia otworów mocujących wał pośredni Wp do wsporników podwozia z wykorzystaniem modelu wału w płaszczyźnie poziomej

Ustawienie w płaszczyźnie poziomej wału pośredniego w linii łączącej wał silnika i wał wózka (rys. 8) wyznaczonej wiązką światła laserowego realizowane jest z wykorzystaniem specjalnego modelu symulującego wał pośredni pozwalający jednoznacznie wyznaczyć punkty wykonania otworów do osadzenia amortyzatorów we wspornikach podwozia.

4. PODSUMOWANIE

Przekazywanie napędu między silnikiem o mocy 500 kW a oddalonym od niego o kilka metrów wózkiem jeżdżącym autobusu szynowego realizowane jest za pomocą wałów napędowych Voith-a, przegubów i wału pośredniego. Takie rozwiązanie układu przekazywania napędu wymusza eliminowanie błędów jego osiowania. Jednym z warunków uniknięcia błędów jest zastosowanie odpowiedniego oprzyrządowania montażowego. Przydatnym w tym względzie jest przedstawiony wyżej laserowy przyrząd ustawczy LPU-1.

LITERATURA

- [1] Zając M.: Układy przeniesienia napędu samochodów ciężarowych i autobusów. Warszawa, WKŁ, 2003.
- [2] Dąbrowski Z.: Inżynieria diagnostyki maszyn. Diagnostowanie układów mechanicznych przeniesienia mocy. ITE, PTDT, Bydgoszcz, Warszawa, Radom, 2004.
- [3] Przybyliński B.: Przyrząd do współosiowego ustawienia wału pośredniego z silnikiem i wózkiem autobusu szynowego LPU-1. Projekt techniczny, 2004.



Dr inż. Bolesław Przybyliński

Od 22.09.1980r do chwili obecnej pracuje w Akademii Techniczno - Rolniczej w Bydgoszczy. Interesuje się technologią budowy maszyn, trwałością regenerowanych elementów maszyn i pojazdów. Obecnie pracownik

Zakładu Samochodów i Ciągników. Autor licznych publikacji z tej dziedziny. Współorganizator i uczestnik Konferencji Naukowo-Technicznych "Regeneracja ..". Zasłużony członek SIMP, posiada brązową (1991), srebrną (1994) i złotą (1996) odznakę tego stowarzyszenia, zdobywca zespołowej nagrody Wojewody (II-go stopnia 1989) i kilku nagród Rektora ATR (II-go stopnia). Prezes Stowarzyszenia Absolwentów ATR. Promotor ponad 40 prac dyplomowych.