

Janusz GARDULSKI, Łukasz KONIECZNY

WPLYW ZMIAN STANU TECHNICZNEGO ZAWIESZENIA HYDROPNEUMATYCZNEGO SAMOCHODU OSOBOWEGO NA JEGO CHARAKTERYSTYKI DYNAMICZNE

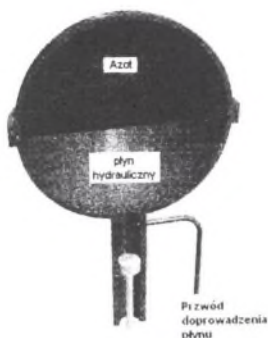
Streszczenie. W pracy przedstawiono wpływ zmiany wybranego parametru na charakterystyki dynamiczne sprężyny gazowej. Parametrem tym jest ciśnienie w sferze hydropneumatycznej (sprężyna gazowa o stałej masie gazu), które w trakcie eksploatacji ulega sukcesywnemu zmniejszeniu na skutek dyfuzji gazu poprzez membranę. Zmiany te pociągają za sobą zmiany charakterystyki dynamicznej sprężyny gazowej zwiększając jej progresję.

THE INFLUENCE OF CHANGES IN TECHNICAL CONDITION OF VEHICLE HYDROPNEUMATIC SUSPENSION ON ITS DYNAMIC CHARACTERISTICS

Summary. This paper presents influence of select parameter on dynamics characteristics gas spring (with constant mass of gas). This parameter is pressure of nitrogen into sphere of hydro-pneumatic suspension. Pressure of nitrogen into sphere is decrease during operating. This causes modification dynamics characteristics gas spring (progress of characteristic is increase).

1. WSTĘP

W zawieszeniu hydropneumatycznym (rozwiązanie stosowane seryjnie przez firmę Citroen) tradycyjne elementy zawieszenia klasycznego zastąpiono ściśliwym gazem mogącym zmieniać swoją objętość, który pełni rolę elementu sprężystego, oraz nieściśliwym płynem będącym przekładnikiem między elementami ruchomymi zawieszenia, a zbiornikami hydropneumatycznymi (rys. 1).



Rys. 1. Sfera zawieszenia hydropneumatycznego
Fig.1. Sphere of hydropneumatic suspension

Zawieszenie hydropneumatyczne charakteryzuje się wieloma zaletami, z których najważniejsze to uniezależnienie wartości prześwitu pojazdu od obciążenia oraz zapewnienie wysokiego komfortu jazdy dzięki zastosowaniu elementów sprężystych o znacznie niższych współczynnikach sztywności niż w przypadku zawieszeń klasycznych [2,3,5].

2. SPRĘŻYNA PNEUMATYCZNA O STAŁEJ MASIE GAZU

W sferach zawieszenia hydropneumatycznego stosowany jest azot ze względu na praktycznie znikomy wpływ temperatury na objętość oraz brak agresywnego oddziaływania na materiał membrany, co ma miejsce przy zastosowaniu powietrza. W zawieszeniu hydropneumatycznym zastosowane są sprężyny gazowe o stałej ilości masy gazu, które określane są poprzez dwa parametry: ciśnienie nominalne p_0 oraz objętość nominalną V_0 . Parametry te określone są dla stanu, gdy na membranę nie oddziałuje siła płynu i ulegają one zmianie z parametrów nominalnych na parametry statyczne dla danego statycznego obciążenia i pozycji pojazdu.

Wolne zmiany ciśnienia w sferze przy ustalaniu stałego prześwitu samochodu i osiągnięcie wartości parametrów statycznych odbywa się przy założeniu przemiany izotermicznej. Parametry statyczne odpowiadają większemu ciśnieniu i mniejszej objętości w stosunku do parametrów nominalnych zgodnie z prawem Marriota:

$$p_0 V_0 = \text{const.} \quad (1)$$

Wartość ciśnienia statycznego jest równa stosunkowi masy obciążającej do powierzchni tłoczyska kolumny hydropneumatycznej:

$$p = \frac{M \cdot g}{S} \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (2)$$

gdzie:

M - masa obciążająca [kg],

g - przyspieszenie ziemskie [m/s²],

S - pole powierzchni tłoczyska [m²].

Objętość statyczną określa zależność:

$$V = \frac{p_0}{p} \cdot V_0 \text{ [m}^3\text{]} \quad (3)$$

gdzie:

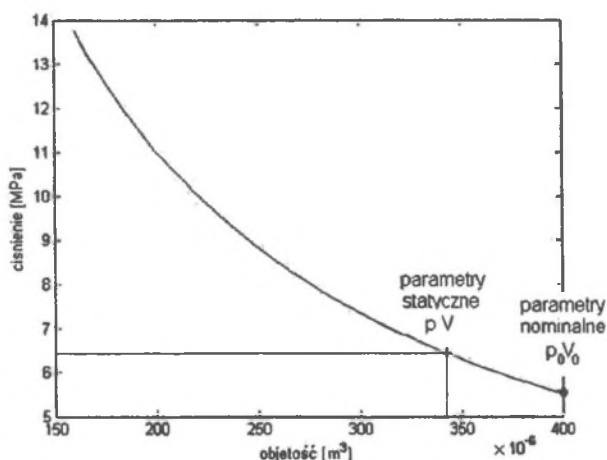
p_0 - ciśnienie nominalne [MPa],

V_0 - objętość nominalna [m³],

p - ciśnienie statyczne [MPa].

W rzeczywistym zawieszaniu hydropneumatycznym element odpowiedzialny za zachowanie stałego prześwitu posiada strefę nieczułości oraz opóźnienie czasowe działania. Dla danego obciążenia statycznego istnieją niewielkie różnice wartości ciśnień statycznych, stąd wartość prześwitu dla danej osi podawana jest z odchyłkami. Poprzez dobór odpowiedniej stałej czasowej korektora wysokości drgania zawieszenia wywołane nierównościami drogi nie inicjują pracy korektora wysokości.

Przykładowo, dla przedniej kolumny Citroena BX 14 zależność objętości od ciśnienia statycznego (odpowiadającego obciążeniu) przedstawia rys. 2.



Rys.2. Zmiana parametrów sprężyny gazowej w funkcji ciśnienia (obciążenia statycznego)
Fig.2. Effect of pressure (static load) on parameters of gas spring

3. CHARAKTERYSTYKI DYNAMICZNE SPRĘŻYNY GAZOWEJ

Dla obciążeń dynamicznych zawieszenia hydropneumatycznego należy przyjąć, iż zachodzą one zgodnie z przemianą adiabatyczną, opisaną zależnością:

$$pV^{\chi} = \text{const} \quad (4)$$

gdzie χ – wykładnik politropy $1 < \chi < 1.4$.

Dla przemiany adiabatycznej $\chi = 1.4$.

Przyjęcie charakteru przemiany adiabatycznej dla dynamicznego sprężania azotu stanowi uproszczenie, które jest często podawane w literaturze dotyczącej zawiesznień hydropneumatycznych [1,2,4,6].

Chwilowe zmiany ciśnienia, odpowiadające przemieszczeniom membrany x_m , można wyznaczyć z zależności:

$$p' = \frac{p \cdot V^{\chi}}{(V - S_m \cdot x_m)^{\chi}} \text{ MPa} \quad (5)$$

gdzie:

S_m – pole powierzchni membrany [m^2],

x_m – przemieszczenie membrany [m],

Z warunku nieściśliwości cieczy $S_m x_m = S x$ można określić siłę F [4]:

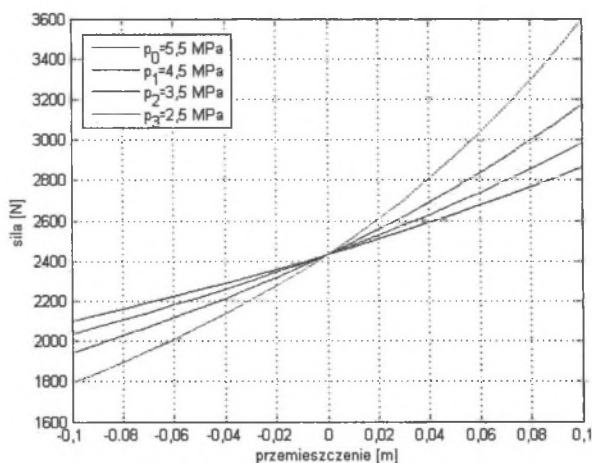
$$F = S \frac{p \cdot V^{\chi}}{(V - S \cdot x)^{\chi}} [N] \quad (6)$$

gdzie:

S – pole powierzchni tłoczyska [m^2],

x – przemieszczenie tłoczyska [m].

Na podstawie tej zależności można wykreślić charakterystykę sprężyny gazowej w przyjętym zakresie przemieszczeń. Charakterystyki te są przede wszystkim funkcją parametrów sprężyny gazowej. Na rys. 3 przedstawiono wpływ obniżenia wartości ciśnienia w sferze hydropneumatycznej na charakterystyki dynamiczne sprężyny gazowej.



Rys.3. Wpływ obniżenia ciśnienia w sferze hydropneumatycznej na charakterystyki sprężyny gazowej
Fig.3. Effect of pressure into sphere on characteristics of gas spring

Zmiana ciśnienia w sferze zawieszenia hydropneumatycznego powoduje zwiększenie progresji charakterystyki sprężyny gazowej (rys.3).

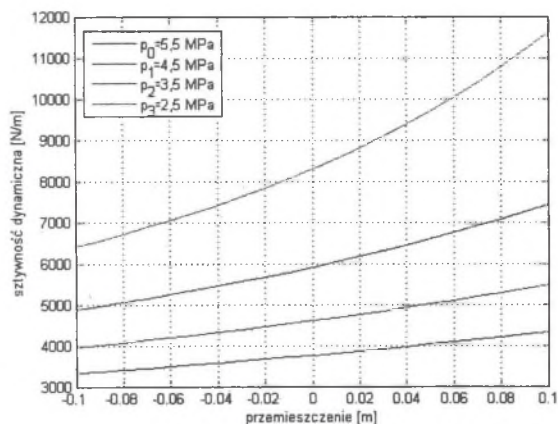
Wartość współczynnika sztywności statycznej można wyznaczyć z zależności:

$$k_{st} = \frac{(M \cdot g)^2}{p_0 \cdot V_0} \quad [N/m] \quad (7)$$

Jak wynika z powyższej zależności, wartość sztywności statycznej jest funkcją obciążenia statycznego pojazdu oraz parametrów sprężyny gazowej. Zmienna sztywność w funkcji obciążenia jest charakterystyczną cechą zawieszenia hydropneumatycznego.

W przypadku sprężyny gazowej zmienną sztywność dynamiczną określić można zależnością:

$$k_{dyn} = \frac{\partial F}{\partial x} \quad [N/m] \quad (8)$$



Rys.4. Wpływ obniżenia ciśnienia w sferze hydropneumatycznej na sztywność dynamiczną sprężyny gazowej

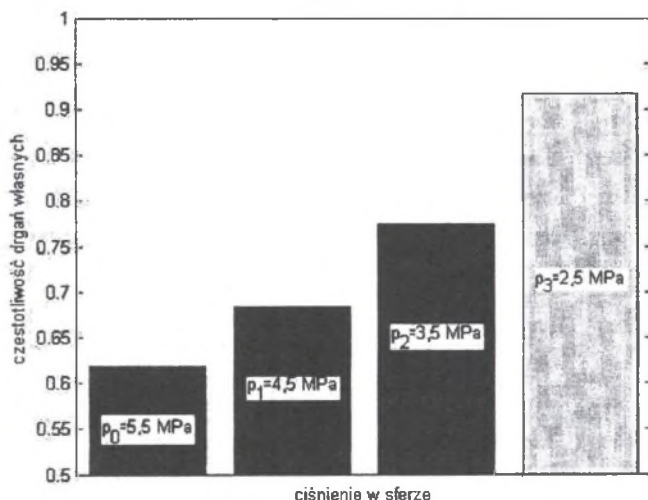
Fig.4. Effect of pressure into sphere on stiffness characteristics of gas spring

Obniżenie wartości ciśnienia w sferze powoduje znaczne zmiany sztywności dynamicznej sprężyny gazowej. Następuje wzrost wartości sztywności statycznej (dla wartości przemieszczenia 0) oraz zwiększenie progresji funkcji opisującej sztywność dynamiczną.

Częstotliwość drgań własnych sprężyny gazowej wynosi:

$$f_s = 2\pi \sqrt{\frac{k_{st}}{M}} \Rightarrow f_s = 2\pi g \sqrt{\frac{M}{p_0 V_0}} \quad [\text{Hz}] \quad (9)$$

Na rys. 5. przedstawiono wpływ obniżenia wartości ciśnienia azotu w sferze hydropneumatycznej na wartość częstotliwości drgań własnych tej sprężyny.



Rys.5. Wpływ obniżenia ciśnienia w sferze hydropneumatycznej na częstotliwość drgań własnych sprężyny gazowej

Fig.5. Effect of pressure into sphere on natural frequency gas spring

Zmiana ciśnienia azotu w sferze wpływa również na wartość częstotliwości drgań własnych sprężyny gazowej (wzór (9)). Obniżenie wartości ciśnienia w sferze powoduje wzrost wartości częstotliwości drgań własnych sprężyny gazowej.

4. PODSUMOWANIE

Zmiany stanu technicznego zawieszenia hydropneumatycznego w postaci obniżenia wartości ciśnienia w sferze hydropneumatycznej wpływają istotnie na charakterystyki dynamiczne zwieszenia hydropneumatycznego. Obniżenie ciśnienia powoduje zwiększenie progresji charakterystyki sprężyny gazowej, wzrost wartości sztywności statycznej oraz wzrost progresji sztywności dynamicznej, a także zwiększenie wartości częstotliwości drgań własnych sprężyny gazowej.

Literatura

1. Bergeon B.: „Résultats de simulations de suspensions hydro-pneumatiques” Université Bordeaux 2002, Commentaires sur l'article R 7 422 des Techniques de l'Ingénieur, traité Mesures et Contrôle, R 7 422.
2. Borkowski W., Konopka S., Prochowski L.: Dynamika maszyn roboczych, WNT, Warszawa 1996.
3. Eulenbach D.: „Hydropneumatische Niveauregelelemente”, Seminars Federungs- und Dämpfungssysteme für Straßen- und Schienenfahrzeuge, 2004.
4. Kamiński E.: Dynamika pojazdów i teoria zawiesznień, WPW, Warszawa 1977.
5. Matschinsky W.: Road Vehicle Suspension, Grate Britain 2000.
6. Studziński K.: Techniczny poradnik samochodowy, część 2, WNT, Warszawa 1962.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski

Praca wykonana w ramach BW-419/RT2/2006