

Zbigniew Burski^{*}, Joanna Tarasińska^{**}, Jerzy Reichenbach^{***},

^{*}Katedra Energetyki i Pojazdów,

Akademia Rolnicza w Lublinie

^{**}Katedra Zastosowań Matematyki,

Akademia Rolnicza w Lublinie

^{***}Wileńska Wyższa Szkoła Rolnicza

OCENA WPŁYWU MODYFIKACJI TŁOKA NA DYNAMIKĘ DRGAŃ TULEI CYLINDROWEJ SILNIKA CIĄGNIKA W WARUNKACH LUZU GRANICZNEGO ZUŻYCIA

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań wpływu modyfikacji tłoka silnika ciągnika w zakresie zmian wysokości i masy na dynamikę drgań tulei cylindrowej. Badania przeprowadzono metodą symulacji eksperymentalnej na stanowisku modelowym. Wykazano, że w wyniku przeprowadzonych modyfikacji wzrasta liniowy poziom drgań tulei cylindrowej, co w warunkach luzu granicznego zużycia jest niekorzystnym zjawiskiem eksploatacyjnym, prowadzącym do przyspieszonej awarii układu korbowo-tłokowego.

Słowa kluczowe: eksploatacja ciągnika, diagnostyka wibroakustyczna, skojarzenie t-p-c, luz graniczny

Wstęp

W procesie projektowania silnika spalinowego jedną z najistotniejszych wartości jest prawidłowy dobór stosunku skoku tłoka do średnicy cylindra (S/D). Przyjęcie określonej wielkości tego parametru wpływa zarówno na wymiary zewnętrzne i masę silnika, jak i na podstawowe wskaźniki jego pracy. Wpływa też, między innymi, na wysokość części pierścieniowej i prowadzącej tłoka. Wysokość części pierścieniowej tłoka zależna jest od ogólnej konstrukcji silnika, liczby pierścieni oraz ich wysokości osiowej. We współczesnych silnikach samochodowych obniżenie tej części tłoka uzyskano poprzez graniczenie liczby pierścieni tłokowych, najczęściej do dwóch pierścieni uszczelniających i jednego pierścienia zgarniającego stosując nowe materiały oraz kształt [Serdecki 1998; Smoczyński i in. 1998].

Dobór części nośnej tłoka rozważa się połączeniu z ukształtowaniem cylindra, co pozwala określić wielkość luzu pomiędzy powierzchniami tych elementów oraz kąt pochylenia tłoka w cylindrze. W zależności od wymiarów i ukształtowania powierzchni bocznej nacisk wywołany przez tłok na gładź cylindrową mieści się w granicach $0,20 \div 0,55 \text{ MPa}$ dla silników z zapłonem iskrowym i $0,45 \div 1,40 \text{ MPa}$ dla silników z zapłonem samoczynnym. Naciski te odnoszą się do części prowadzącej i mogą być miejscami znacznie większe z uwagi na rzeczywistą powierzchnię styku. W wyniku eksploatacyjnego zużycia i odkształceń temperaturowych następuje zmiana średnicy cylindra i tłoka, co istotnie zmienia rozkład nacisków. Może to doprowadzić do najgroźniejszego ze stanów niezdatności funkcjonalnej silnika-awarii układu tłokowo-korbowego.

Cel pracy

Celem niniejszej pracy jest próba oszacowania wpływu modyfikacji geometryczno-masowej tłoka (przy zachowaniu konwencjonalnej wartości współczynnika $k=S/D$) na drgania tulei cylindrowej oraz wyodrębnienie sygnału diagnostycznego uderzeń tłoka o gładź w warunkach granicznego zużycia skojarzenia t-p-c.

Metoda i metodyka badań

Badania przeprowadzono metodą symulacji eksperymentalnej na stanowisku modelowym, wykorzystując pojedynczy zespół tłokowo-korbowy silnika S 4002/3 [Burski 2001]. Na stanowisku zastosowano uszczelnienie tulei za pomocą pierścienia gumowego, który został odciążony od sił gazowych czterema otworami stabilizującymi. Z uwagi na znaczny i stały wpływ siły gazowej w procesie eksploatacji silnika o zapłonie samoczynnym, w miejsce typowej głowicy zastosowano dwie komory eksperymentalne (I, II), o zróżnicowanym ciśnieniu sprężania (tab. 1).

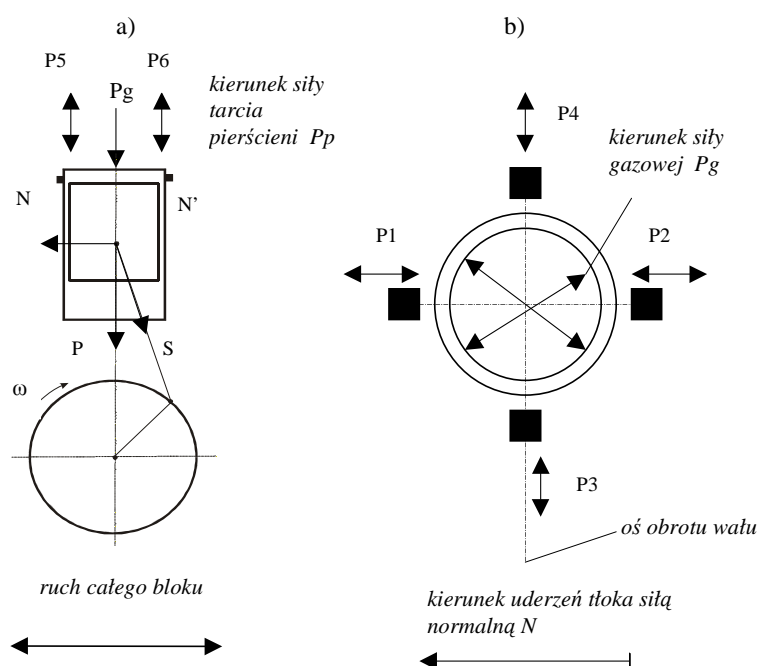
Przedmiotem badań był liniowy poziom przyspieszenia drgań (LIN) wykonany aparaturą pomiarową typ SVAN 912 AE firmy SVANTEK, współpracujący z komputerem klasy IBM PC z zainstalowanym oprogramowaniem Svan PC.

Zgodnie z przyjętą metodyką badań wykonano pięć modyfikacji wymiarowych tłoka: cztery na części prowadzącej w kolejności oznaczeń 1,2,3,5 oraz jedną (oznaczoną jako 4) na części uszczelniającej, zachowując oryginalną liczbę pierścieni tłokowych.

Tabela 1. Podstawowe parametry skojarzenia t-p-c o luzie granicznego zużycia
 Table 1. The basic research conditions of the p-r-c unit at the limitary clearance

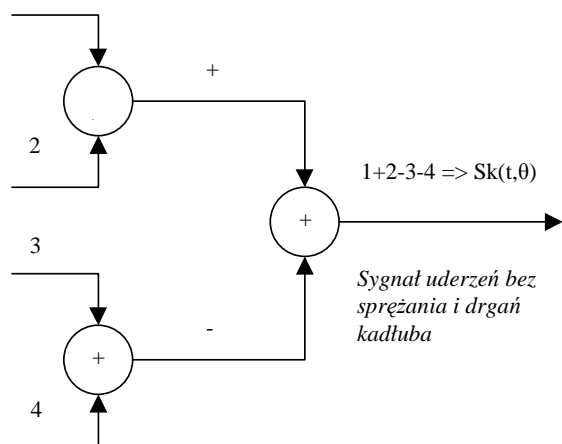
Wyszczególnienie	Modyfikacje tłoka						
	Komora	0	1	2	3	4	5
Ciśnienie sprężania (ps) [MPa]	I	0,295	0,295	0,295	0,280	0,258	0,200
	II	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,106
Prędkość obrotowa wału (n)[r/min]	I	375	405	435	435	440	440
	II	445	445	445	455	460	460
Współczynnik modyfikacji tłoka γ_{ML} [g/mm]		9,4	9,6	9,8	10	10,3	10

Wartości współczynnika γ_{ML} (masa/długość) przedstawiono wraz z innymi parametrami pracy układu w tab. 1. Na rys. 1 i rys. 2 przedstawiono miejsca pomiaru drgań tulei cylindrowej oraz metodykę selekcji kierunkowej sygnału uderzeń tłoka o gładź cylindra.



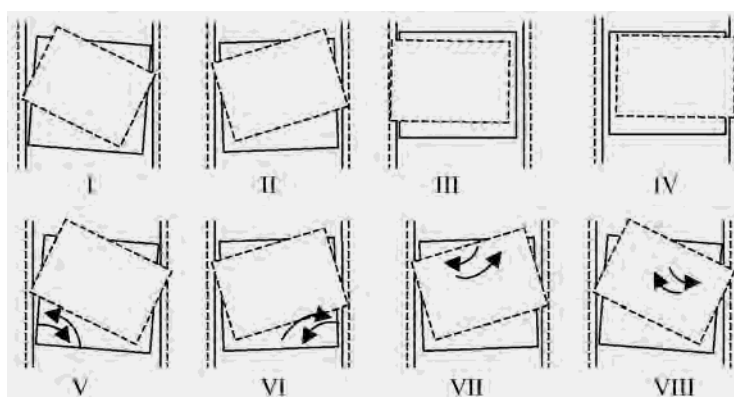
Rys.1 a,b. Miejsca pomiaru drgań tulei cylindrowej i model działaniowy podstawowych sił w skojarzeniu t-p-c

Fig.1 a,b. Measurement points of the cylinder liner vibrations and the functioning model of the basic forces in p-r-c.association



Rys. 2. Selekcja kierunkowa drgań skojarzenia t-p-c w przyjętej metodyce badań (według Cempla)
 Fig. 2. Directional vibration selection of p-r-c association in the adopted research methodology (according to Cempel)

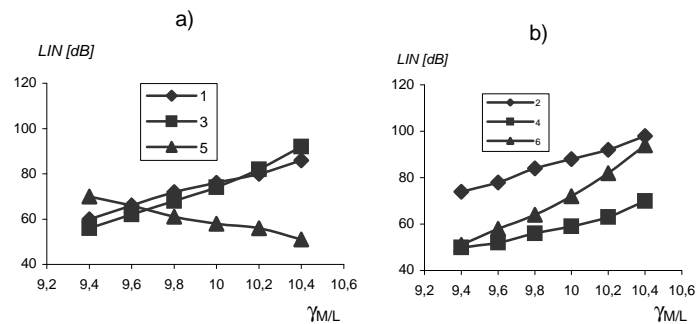
Na rys. 3 uwzględniono początkowe (technologiczne) i zmodyfikowane warunki jego poprzecznych ruchów, z uwzględnieniem eksploatacyjnego (granicznego) luzu skojarzenia. Podstawowe położenia I-IV i przemieszczenia (obroty) tłoka V-VIII dotyczą procesu tarcia i uderzeń tłoka w istotny sposób wpływających na sumaryczny, liniowy poziom drgań tulei cylindrowej [Smoczyński i in. 2004].



Rys. 3. Podstawowe położenia i przemieszczenia tłoka w tulei cylindrowej w warunkach luzu początkowego „—”, (wg Smoczyński i in., 2004) oraz modyfikacji „-----”, , uwzględniając zmianę masy i wysokości tłoka, skojarzenia t-p-c o luzie granicznego zużycia w badaniach własnych (opis w tekście)
 Fig. 3. Basic positions and movements of the piston in a cylinder liner in conditions of technological clearance „—”, (after Smoczyński and others,2004) and modifications „-----”, , with changes of piston mass and height (description in the text)

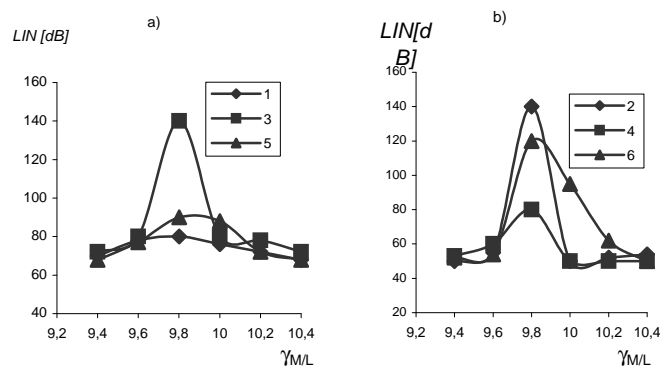
Wyniki badań

Wyniki badań przedstawiono na rys.4-8, z uwzględnieniem rodzaju występujących sił w badanym układzie pomiarowym. Na rys. 4 i 5 przedstawiono wpływ współczynnika γ_{ML} w warunkach oddziaływania siły masowej P_b (bez ciśnienia sprężania) oraz P_{max} (P_b+P_g) na liniowy poziom drgań, we wszystkich znormalizowanych płaszczyznach pomiarowych.



Rys. 4. Zmiana liniowego poziomu drgań tulei cylindrowej w funkcji współczynnika γ_{ML} w warunkach oddziaływania siły masowej P_b ; a,b- punkty pomiarowe płaszczyzn (opis na rys. 1)

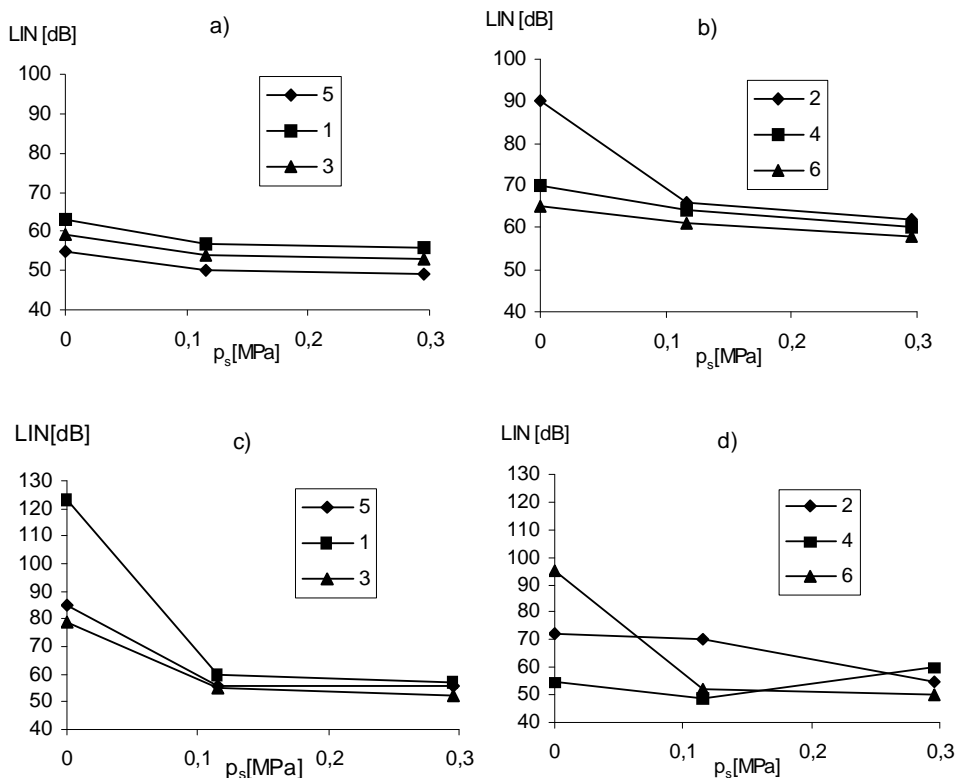
Fig. 4. The change of the linear vibrations level as a function of piston's modifications coefficient γ_{ML} in conditions of acting force P_b ; a,b-planes measurement points (described in Fig. 1)



Rys. 5. Zmiana liniowego poziomu drgań tulei cylindrowej w funkcji współczynnika γ_{ML} w warunkach oddziaływania siły P_{max} ($P_{max}=P_b+P_g$); a,b – punkty pomiarowe płaszczyzn (opis na rys. 1)

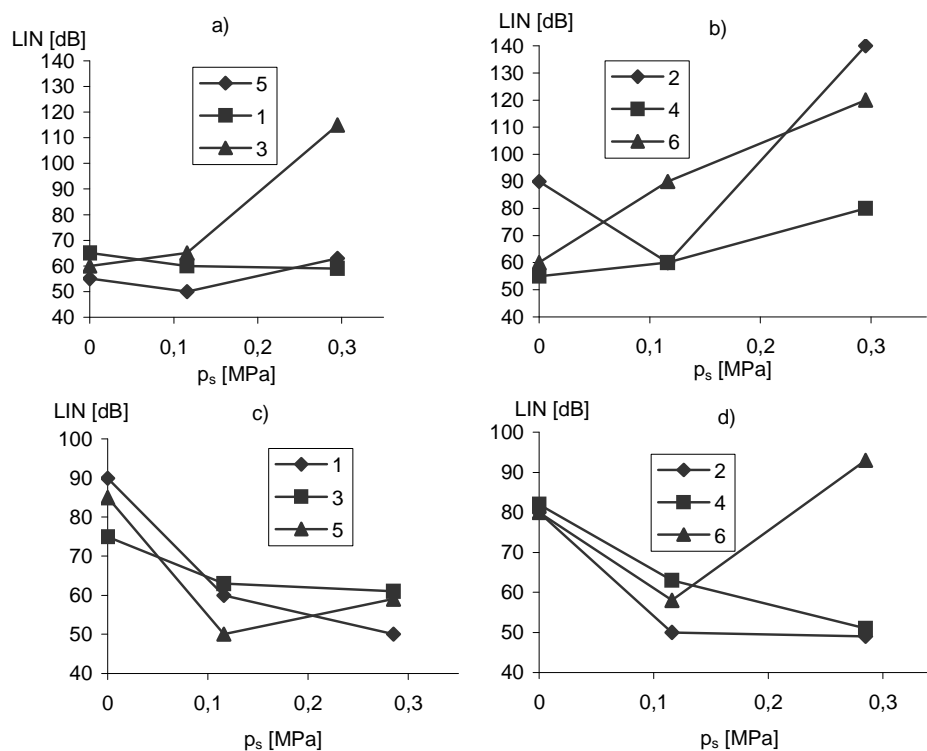
Fig. 5. The change of the linear vibrations level as a function of piston's modifications coefficient γ_{ML} in conditions of acting force P_{max} ($P_{max}=P_b+P_g$); a,b-plane measurement points (described in Fig. 1)

Na rys. 6-7 przedstawiono zmiany LIN w funkcji ciśnienia sprężania dla wybranych wartości współczynnika γ_{ML} .



Rys. 6. Zmiana liniowego poziomu drgań tulei cylindrowej w funkcji ciśnienia sprężania (p_s) tłoka o $\gamma_{ML}=9,4$ (a,b) i $\gamma_{ML}=9,6$ (c,d); 1-6 –punkty pomiarowe (opis na rys. 1)

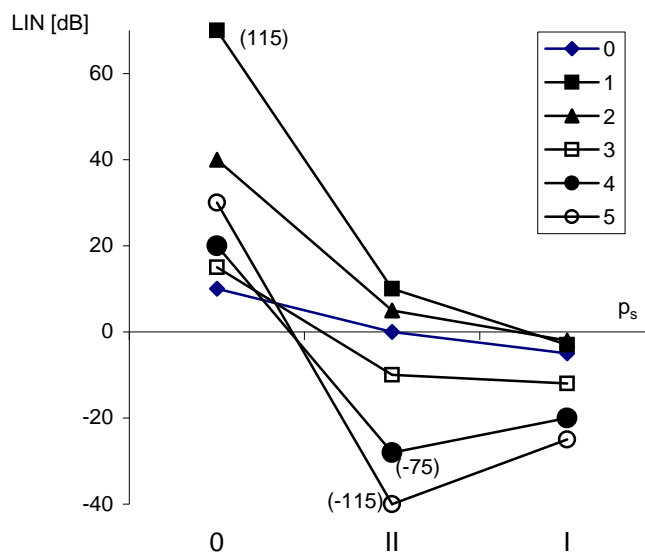
Fig. 6. The change of a cylinder liner's linear vibrations level as a function of piston's pressure (p_s) with $\gamma_{ML}=9,4$ (a,b) and $\gamma_{ML}=9,6$ (c,d); 1-6 –measurement points (described in Fig. 1)



Rys. 7. Zmiana wartości liniowego poziomu drgań tulei cylindrowej w funkcji ciśnienia sprężania (p_s) tłoka o $\gamma M/L=9,8$ (a,b) i $\gamma M/L=10,0$ (c,d); 1-6-punkty pomiarowe (opis na rys.1)

Fig. 7. The change of a cylinder liner's linear vibrations level as a function of piston's pressure (p_s) with $\gamma M/L=9,8$ (a,b) and $\gamma M/L=10,0$ (c,d); 1-6 –measurement points (described in Fig.1)

Na rys. 8 przedstawiono zmiany sygnału uderzeń tłoka o gładź cylindra metodą selekcji kierunkowej, w warunkach wykonywanych modyfikacji wymiarowo-masowych.



Rys. 8. Zmiana sygnału uderzeń tłoka o gładź cylindra metodą selekcji kierunkowej drgań 1-5- kolejne modyfikacje tłoka; I,II-komory sprężania

Fig. 8. Change of piston strokes signal by method of directional selections, 1-5 –successive piston’s modifications; I,II- compression chambers

Podsumowanie

1. Jedną z wielkości, pomijanych z konieczności, w badaniach symulacyjnych procesów tarcia jest zmiana kąta pochylenia tłoka w cylindrze, istotnie związana z jego wymiarami, w tym z wysokością części prowadzącej i uszczelniającej w aspekcie eksploatacyjnego zużycia.
2. O ile, w zakresie zachodzących procesów trybologicznych, wzajemne związki są złożone i trudne do jednoznacznego ustalenia, tak przeprowadzone badania skumulowanego oddziaływania, w postaci generowanego liniowego poziomu natężenia drgań (LIN) pozwalają na określenie kierunku ich zachodzenia. Dotyczy to odniesienia do układu konwencjonalnego, jak i zmian związanych z wpływem siły gazowej.
3. Uzyskane w wyniku przeprowadzonej modyfikacji zmiany wysokości i masy tłoka powodują, w warunkach oddziaływania siły masowej P_b , w większości płaszczyzn wzrost liniowego natężenia drgań tulei cylindrowej (od 1,5 do 2,0). Natomiast, w przypadku oddziaływania siły P_{max} , kierunek tych zmian nie jest

jednoznaczny. Wiąże się to z wpływem siły gazowej, gdzie LIN ulega początkowo zmniejszeniu (do $\gamma_{ML}=9,6$), a następnie w niektórych płaszczyznach znacznemu zwiększeniu. Znajduje to potwierdzenie w zastosowanej metodzie selekcji kierunkowej detektora. W warunkach oddziaływania siły masowej (niezależnie od zastosowanej modyfikacji) przeważają sygnały uderzeń tłoka o gładź cylindra. Zastosowanie eksperymentalnych komór sprężania wywołuje przewagę sygnału drgań od siły gazowej.

4. Dla luzu granicznego zużycia znaczna modyfikacja tłoka jest więc niekorzystnym zjawiskiem eksploatacyjnym i ekologicznym, wpływającym na ogólny poziom generowanych drgań.
5. Z uwagi na złożoność prezentowanej tematyki badawczej jest ona kontynuowana w celu statystycznego potwierdzenia zachodzących zmian.

Bibliografia

Burski Z. 2001. Badania symulacyjne drgań tulei cylindrowej silnika ciągnika na stanowisku modelowym w aspekcie trybologicznym. Eksploatacja Silników Spalinowych, Politechnika Szczecińska, Szczecin.

Iskra A. 1998. Straty tarcia powierzchni bocznej tłoka-weryfikacja modelu obliczeniowego. TEKA KN-PM, Z-15, s. 145-154, Wyd.PAN O/Kraków.

Serdecki W. 1998. Ocena wpływu ukształtowania elementów układu korbowo-tłokowego na wskaźniki pracy silnika spalinowego. TEKA KN-PM, Z-15, s. 155-165, Wyd.PAN O/Kraków

Smoczyński M., Sygniewicz J. 1998. Analiza wpływu obciążeń mechanicznych na kątowne położenie pierścienia tłokowego względem tulei cylindrowej. TEKA KN-PM, Z-15, s.133-143, Wyd.PAN O/Kraków.

Smoczyński M., Sygniewicz J. 2004. Model poprzecznych ruchów tłoka w tulei cylindrowej. Czasopismo Techniczne Z. 6M, s.721-730,Wyd. Polit. Krakowska, Kraków.

INFLUENCE OF PISTON MODIFICATION ON THE VIBRATION DYNAMICS IN THE CYLINDER LINER OF AN AGRICULTURAL TRACTOR IN CONDITIONS OF LIMITARY CLEARANCE

Summary

Presented are the results of study on the impact of modification of tractor engine piston regarding height and weight changes on the dynamics of cylinder liner vibrations. The research was done by using the experimental simulation method on a model stand. It was established that because of the modification the linear level of the cylinder liner vibrations increases, which in the conditions of limit wear clearance is a disadvantageous operational phenomenon, leading to a sooner breakdown of the crankshaft-and-piston system.

Key words: tractor operation, vibroacoustic diagnostics, t-p-c association, limit clearance