

Badania drgań na siedzeniu ciągnika

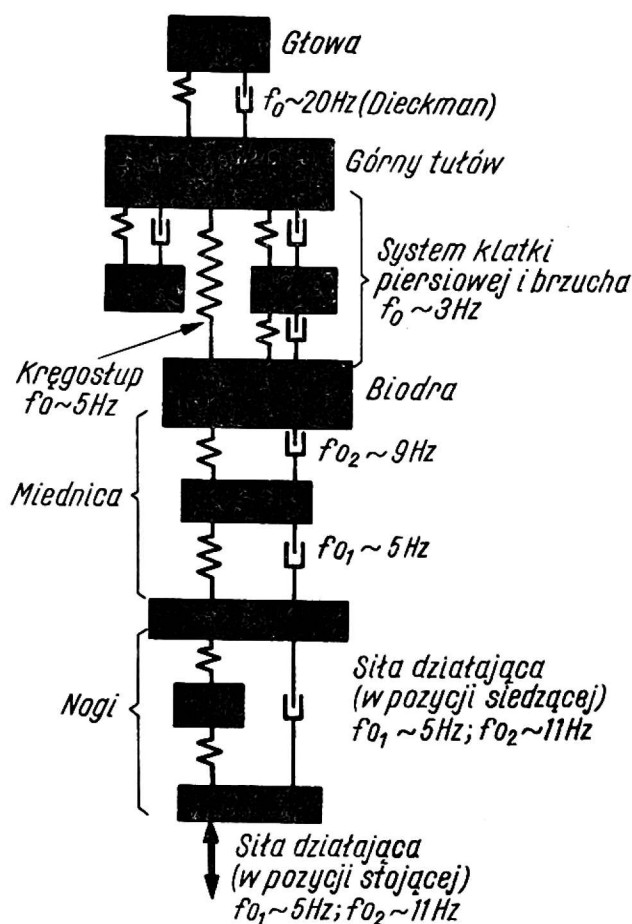
WACŁAW PLESZCZYŃSKI

Mechanizacja prac rolniczych spowodowała — jako efekt nie zamierzony — wprowadzenie do środowiska pracy na wsi wielu nowych czynników, uprzednio w rolnictwie nie występujących, bądź nie odgrywających większej roli. Jednym z nich, o szczególnym znaczeniu, są drgania i wstrząsy towarzyszące traktorzyście podczas pracy na ciągniku. Jak wykazały badania medyczne, prowadzone równoległe w wielu krajach przez lekarzy, fizjologów i higienistów pracy, drgania i wstrząsy występujące w środowisku pracy traktorzysty są czynnikiem patogenetycznym o złożonym działaniu. Utrudniają pracę, podnoszą jej koszt energetyczny i mogą prowadzić do występowania u traktorzystów różnego rodzaju schorzeń lub zmian czynnościowych. Wydatne obniżenie intensywności drgań oddziałujących na traktorzystę jest pilnym zadaniem stojącym przed techniką, wynikającym z konieczności spełnienia podstawowego postulatu ergonomicznego: dostosowania warunków pracy do możliwości biologicznych człowieka.

Badania środowiska drganiowego na ciągniku datują się od początku lat pięćdziesiątych. Wychodząc z postulatów ustalonych przez medycynę, prace te zmierzają do poznania charakteru drgań i wstrząsów występujących na ciągnikach, pomierzenia ich parametrów i — przez zastosowanie odpowiednich środków technicznych — do stworzenia warunków pracy odpowiadających pojęciom komfortu w odniesieniu do tego czynnika środowiska. Dla określenia intensywności drgań, występujących na ciągnikach, stosowane były różne metody, poczynając od badań na uproszczonych układach zastępczych i modelach, poprzez terenowe badania chronofotograficzne i cyklograficzne, pomiary przy pomocy mechanicznych wibrometrów, aż do współcześnie wykonywanych pomiarów przy zastosowaniu aparatury elektronicznej. Tego rodzaju badania przeprowadzano na wybranych odcinkach nawierzchni naturalnej, na doświadczalnych torach betonowych ze sztucznymi przeszkodami, na kanałach glebowych, na rolkowych stoiskach pomiarowych, jak również w warunkach normalnej pracy — przy użyciu wozu pomiarowego wyposażonego w aparaturę rejestrującą i agregat prądotwórczy.

Liczne z podjętych badań reprezentowały aspekt ergonomiczny. Jednakże, pomimo coraz większych możliwości stwarzanych przez technikę pomiarową, dotychczasowe próby zinterpretowania wyników przy pomocy konfrontacji z odnośnymi normatywnymi higienicznymi i kryteriami oceny — nie przyniosły spodziewanych rezultatów. Organizm człowieka reaguje na drgania w sposób nader złożony. Jeżeli podda się

człowieka drganiom o pewnej częstotliwości, to ciało jego zachowuje się w sposób dalece odbiegający od sposobu charakteryzującego masę o jednolitej strukturze. Zależnie od aktualnych częstotliwości drgań pobudzających i częstotliwości drgań własnych poszczególnych części ciała i narządów, stosunek amplitudy przemieszczeń określonych punktów na ciele do amplitudy drgań pobudzających (zwany współczynnikiem przenoszenia), może przybierać różne wartości. Do częstotliwości około 2 Hz zachowuje się człowiek (siedzący lub stojący) — jako jednolita masa. Wszystkie punkty na jego ciele poruszają się mniej więcej po jednakowych drogach i współczynnik równa się jedności. W miarę wzrostu częstotliwości coraz silniej ujawniają się własności sprężyste ciała. Rys. 1 przedstawia schemat mechanicznego odpowiednika ciała człowieka (w formie przyjętej przez Coermanna), uwidaczniający występowanie licznych systemów i podsystemów, z których każdy charakteryzuje się własnym zakresem częstotliwości drgań własnych i występującego rezonansu.



Rys. 1. Schemat blokowy układu mechanicznego ciała człowieka (wg Coermanna i wsp.)

Najwyższe wartości przyjmuje współczynnik przenoszenia przy drganiach o częstotliwościach zbliżonych do częstotliwości rezonansowych ciała człowieka. I tak, w niskoczęstotliwym zakresie 4—6 Hz amplitudy przemieszczeń poszczególnych części ciała, w wyniku powstawania drgań o charakterze rezonansowym, znacznie przewyższają amplitudy drgań pobudzających. Natomiast poczynając od około 10 Hz, amplitudy mierzone na ciele są już mniejsze niż amplitudy drgań pobudzających, przy czym w pewnych zakresach częstotliwości dają się stwierdzić kolejne, już dużo słabiej zarysowujące się, maksima rezonansowe. Stanowią one niejako wypadkowe zakresów rezonansowych poszczególnych organów, wynikające z uwzględnienia ich częstotliwości własnych i masy.

Ograniczony czas referatu nie pozwala na przedstawienie wyników badań leżących u podstaw kryteriów oceny drgań, będących próbami ujęcia obciążeń powstających w wyniku działania drgań na ustrój — w postaci skal, bądź wzorów, opartych na obiektywnych wartościach fizycznych działających podniet drganiowych. Podkreślić jednak należy, że wszystkie ze znanych kryteriów, zmierzając do ustalenia zależności między określonymi parametrami drgań (amplituda, prędkość, przyspieszenie, zmiany przyspieszeń) — a procesami fizjologicznymi (bądź psychicznymi) w eksponowanym ustroju, uwzględniają w pierwszym rzędzie zasadnicze różnice w odczynowości ustroju na drgania o różnych częstościach. Z tych też przede wszystkim względów, próby zastosowania kryteriów — np. Reihera i Meistera, Zellera, Andrejew-Gałaniny, czy Dieckmanna — do oceny obciążenia drganiowego traktorzysty, napotykają na zasadnicze trudności. Większość z dotychczas przeprowadzonych pomiarów drgań na ciągnikach nie uwzględnia bowiem — z przyczyn metodyczno-technicznych — analizy częstości drgań, bądź też przeprowadza ją w sposób bardzo uproszczony, np. przy pomocy czujników o ograniczonym zakresie pomiarowym.

Podjęte badania własne zmierzały w pierwszym rzędzie do zbadania, czy przy pomocy odpowiedniej modyfikacji i rozszerzenia metody elektroniczno-statystycznej analizy drgań istnieje możliwość przeprowadzenia analizy widmowej drgań występujących na siedzeniu ciągnika, i — co za tym idzie — pełniejszego niż dotychczas ocenienia, w oparciu o normatywy higieniczne, obciążenia drganiowego ustroju traktorzysty. Równocześnie program badań przewidywał objęcie pomiarami obok składowej pionowej również dwóch składowych poziomych drgań występujących na siedzeniu ciągnika. Będąca do dyspozycji aparatura stanowiła własność Instytutu Maxa Plancka w Bad Kreuznach, który również zabezpieczył techniczną stronę badań.

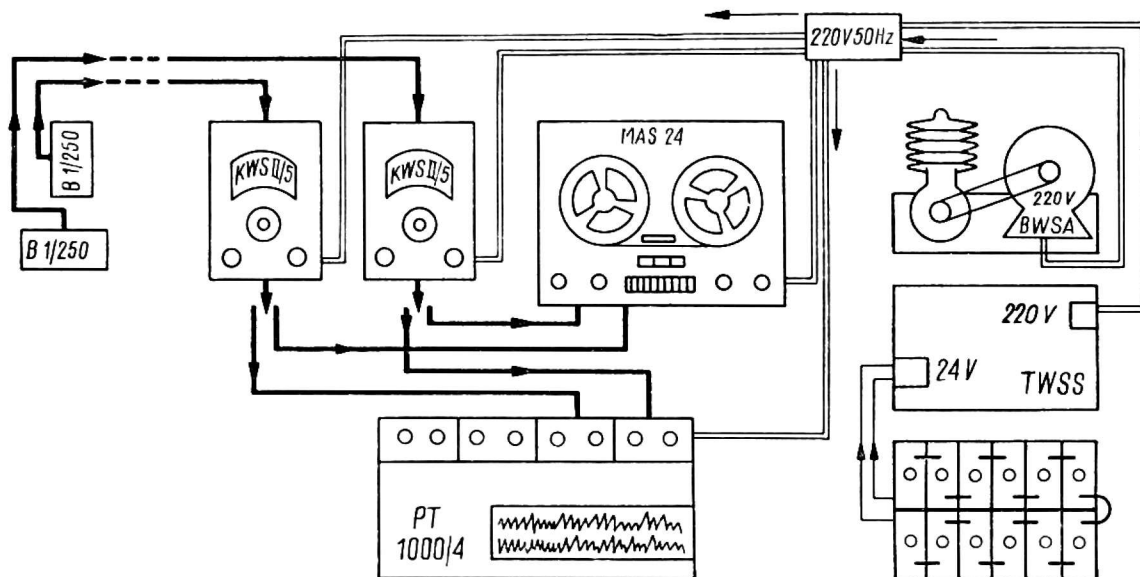
Zastosowana metodyka badań obejmowała:

- rejestrację magnetyczną przyspieszeń drgań występujących na siedzeniu ciągnika testowego,
- laboratoryjne opracowanie zapisów przy pomocy elektronicznego analizatora rozkładu (aparatu klasującego),
- opracowanie statystyczne wyników analizy elektronicznej (celem uzyskania empirycznych rozkładów przyspieszeń),
- badania laboratoryjno-statystyczne, zmierzające do uzyskania modeli analizy widmowej drgań.

Schemat blokowy zestawu aparatury do pomiaru i rejestracji drgań na ciągniku przedstawia rys. 2. W specjalnym uchwycie między płaszczyzną siedzenia ciągnika a powierzchnią ciała kierowcy umieszczano czujniki przyspieszeń (typ B 1/250 firmy Hottinger-Baldwin-Messtechnik), przetwarzające przejętą wielkość mechaniczną na proporcjonalną do niej wielkość elektryczną i przesyłające ją, przy pomocy kabla pośredniczącego, do zainstalowanej w towarzyszącym ciągnikowi wozie pomiarowym aparatury rejestrującej: uniwersalnych mostków pomiarowych ze wzmacniaczem KWS II/5 (Hottinger-Baldwin-Messtechnik), rejestratora magnetycznego MAS 24 (Telefunken) i rejestratora graficznego PT 1000/4 (Philips).

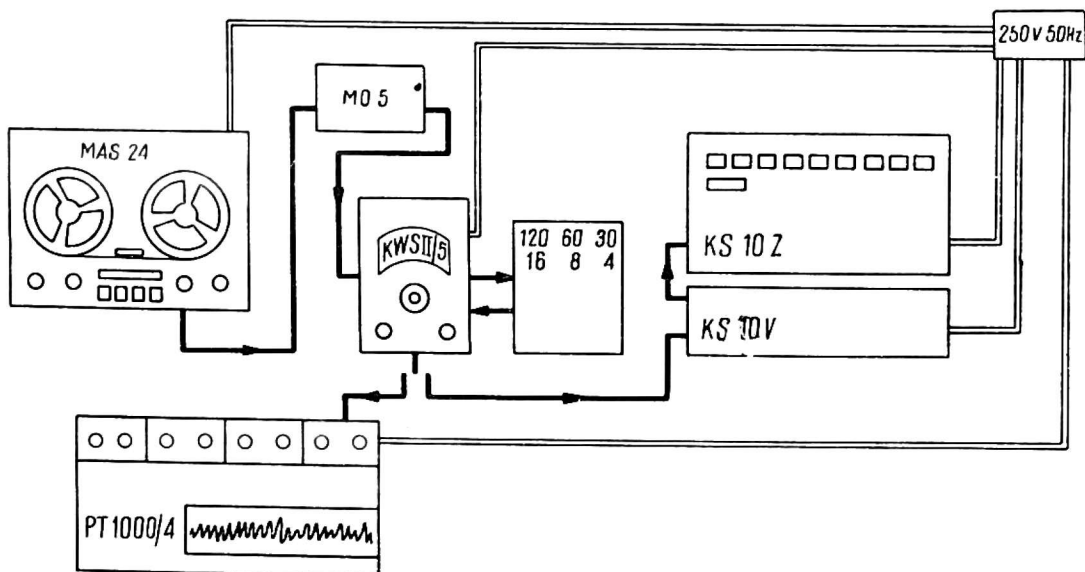
Zasilanie aparatów prądem 220 V 50 Hz zapewniała zainstalowana w wozie przetwornica tranzystorowa i awaryjny agregat benzynowo-elektryczny.

Metoda laboratoryjnego opracowania zapisów magnetycznych wywodziła się z metody opracowanej w 1962 roku przez Dupuisa i Broichera, którzy przy pomocy



Rys. 2. Schemat blokowy zestawu aparatury do pomiarów i rejestracji drgań na ciągniku

zainstalowanego w woje pomiarowym aparatu klasującego przeprowadzali w warunkach polowych analizę rozkładu występujących przyspieszeń, prowadząc do obliczenia wartości skutecznych — jako wielkości charakteryzujących przebieg krzywej przyspieszeń w warunkach pomiaru. Zastosowana modyfikacja własna i rozszerzenie metody wymagała przeniesienia analizy w warunki laboratoryjne, umożliwiające wielokrotne odtwarzanie z taśmy tych samych przebiegów przyspieszeń. Schemat blokowy zestawu aparatury przedstawia rys. 3. Obok stosowanych

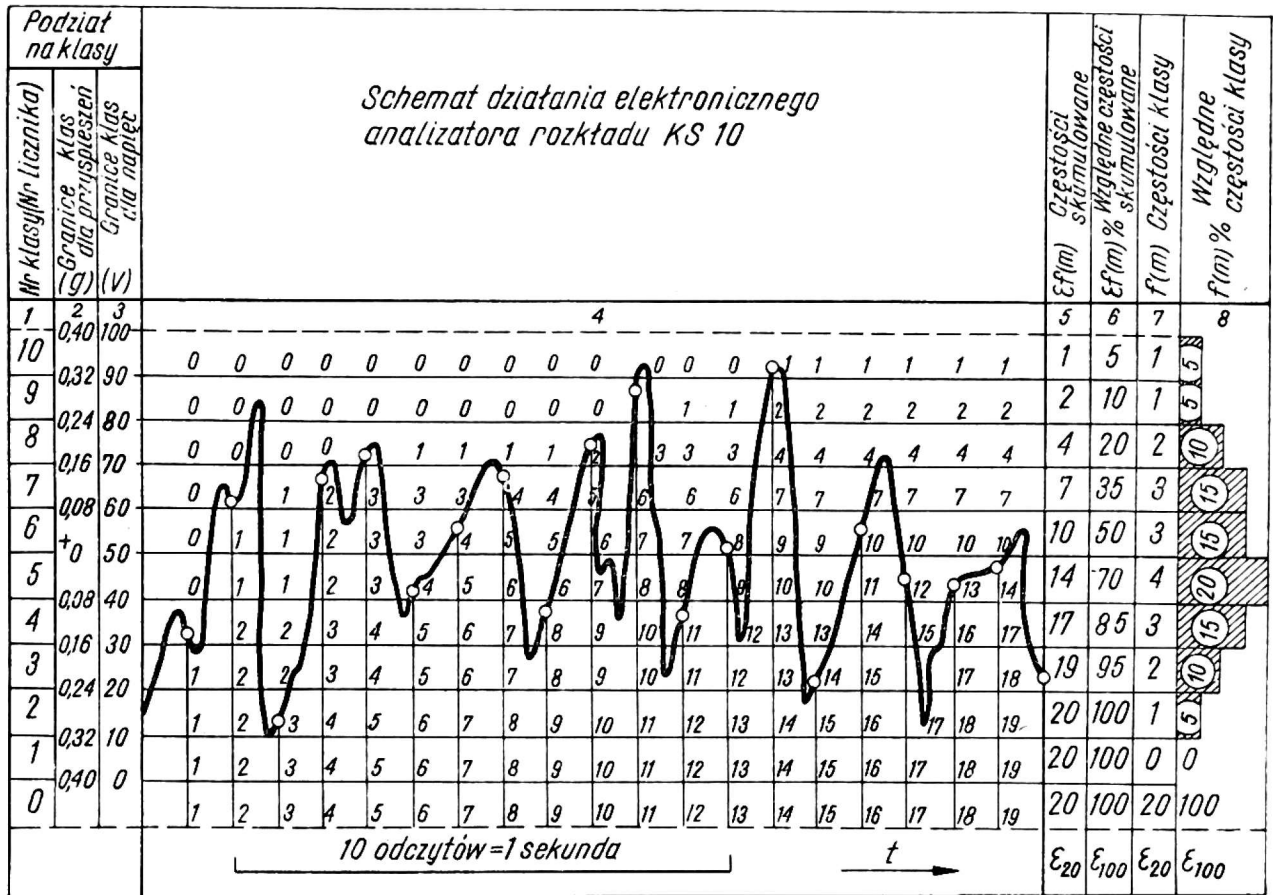


Rys. 3. Schemat blokowy zestawu aparatury do laboratoryjnej analizy drgań

w pomiarach terenowych rejestratora magnetycznego MAS 24 i mostka KWS II/5 w skład zestawu wchodzi współpracujący z mostkiem modulator Mo 5*, elektroniczny dolnoprzepustowy filtr pomiarowy TP 6* oraz aparat klasujący KS 10

z przedwzmacniaczem*. Podobnie jak w pomiarach terenowych, celem uzyskania graficznego obrazu analizowanego przebiegu drganiowego, w miejsce aparatu klasującego może być podłączony rejestrator PT 1000/4.

Aparat klasujący KS 10 przeprowadza analizę według systemu opartego o automatyczne pomiary wrywkowe przyspieszeń, przeprowadzane z wybraną dowolnie częstością 2, 5, 10 lub 25 razy na sekundę. Aparat dokonuje podziału objętego rejestracją magnetyczną zakresu pomiarowego na 11 klas (rys. 4). Podział na klasy, wraz z wyszczególnieniem odnośnych zakresów przyspieszeń i napięć pomiarowych, przedstawiony jest po lewej stronie schematu. Podczas przeprowadzania analizy,



Rys. 4. Schemat działania elektronicznego analizatora rozkładu KS 10

w czasowym przebiegu napięcia pomiarowego $U = f(t)$, dokonany zostaje w przypadkowo wybranym momencie pierwszy odczyt. Układy pomiarowe przyrządu ustalają, w której klasie znajduje się wartość pomiarowa odpowiadająca danemu momentowi. Licznik danej klasy oraz równocześnie wszystkie liczniki klas niższych rejestrują jeden impuls. Po upływie 1/10 sekundy przyrząd przeprowadza następny odczyt. W dalszym ciągu analizy otrzymuje się — po osiągnięciu założonej liczby automatycznych odczytów (w danym przykładzie 20, w prowadzonych badaniach — 10 000) — częstości skumulowane dla każdej klasy ($\Sigma f(m)$), stanowiące podstawę do uzyskania empirycznego rozkładu wartości przyspieszeń analizowanego zapisu. Metoda obliczeniowa zastosowana przez Dupuisa i Broichera prowadziła do wyliczenia odchylenia standardowego, będącego oszacowaniem wartości skutecznej przyspieszeń mierzonych drgań.

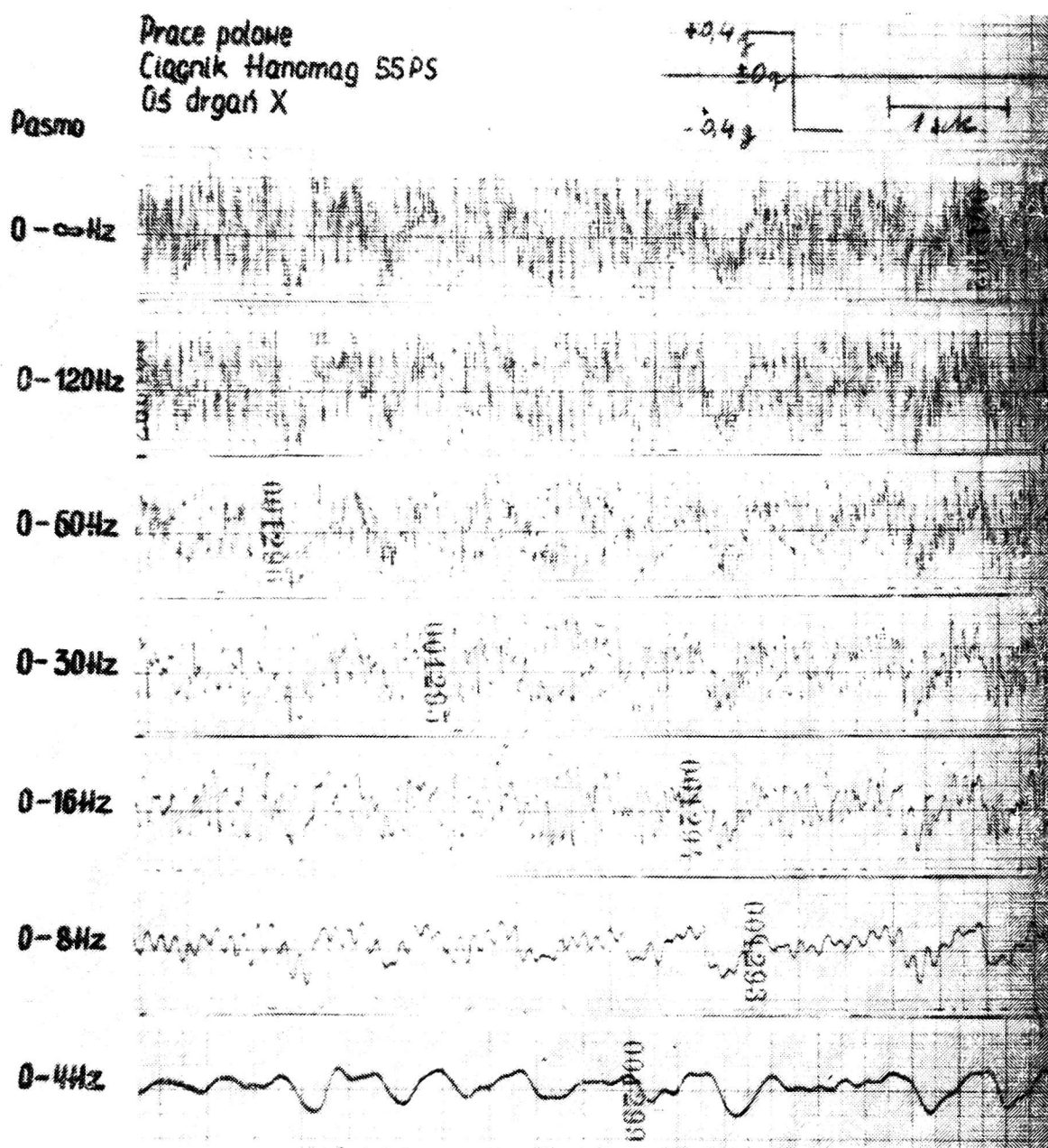
Uzyskane w powyższy sposób wyniki nie pozwalają jednak na przeprowadzenie

* Firmy Hottinger-Baldwin-Messtechnik.

oceny drgań w ich aspekcie higienicznym. Wartości skuteczne uśredniają mierzony parametr — przyspieszenie, traktując w jednakowy sposób wszystkie drgania składowe o różnych częstotliwościach, występujące na siedzeniu ciągnika. Otrzymane wyniki nie mogą więc być zinterpretowane przy pomocy normatywów ergonomicznych, w których graniczne wartości przyspieszeń ujęte są w funkcji częstości drgań.

Metoda własna analizy zmierzała — wobec niemożności przeprowadzenia właściwej analizy widmowej, w sposób analogiczny do metod stosowanych w akustyce — do uzyskania pewnego rodzaju modelu widma drgań, w oparciu o wyniki uzyskane na drodze kolejnych analiz elektroniczno-statystycznych tego samego zapisu, ograniczanego do coraz węższego zakresu częstości. W tym celu posłużono się elektronicznym dolnoprzepustowym filtrem TP 6, włączanym — podczas analizy laboratoryjnej — między wyjście rejestratora magnetycznego a wejście aparatu klasującego.

W przeciwieństwie do filtrów stosowanych w akustyce, ograniczających z obu stron wyodrębniane pasmo drgań słyszalnych, filtr TP 6 jest filtrem dolnoprzepustowym o sześciu nastawnych częstościach granicznych: 4 Hz, 8 Hz, 16 Hz,



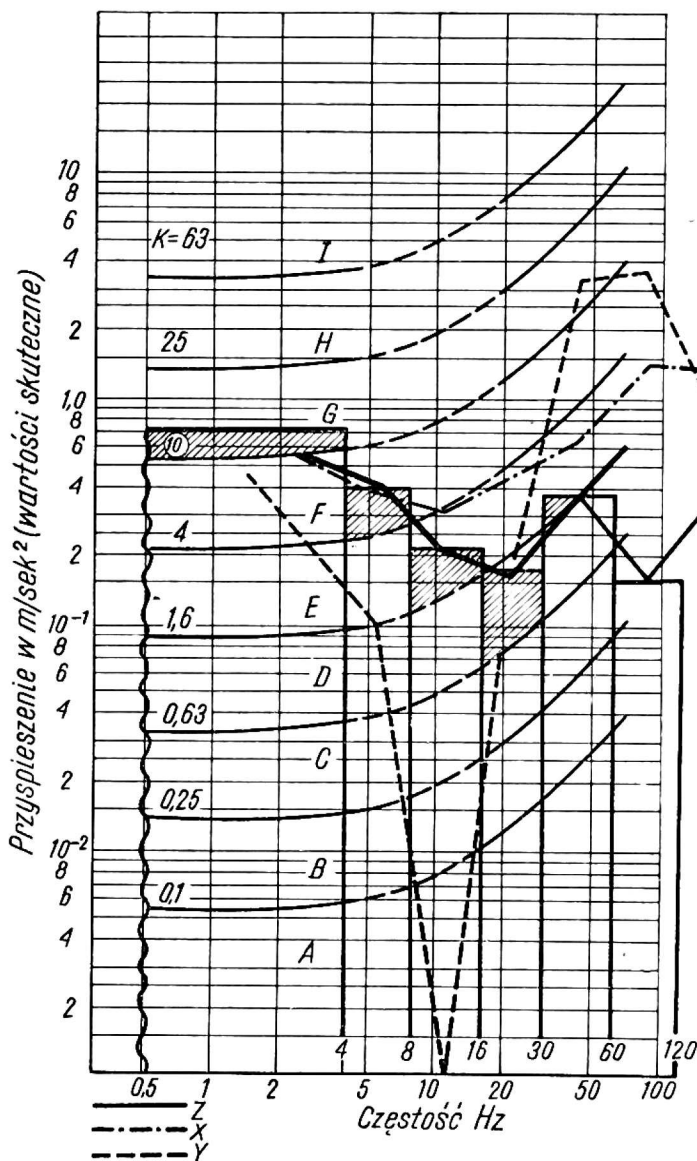
Rys. 5. Zapis przyspieszeń drgań na ciągniku gąsienicowym (drgania poziome X, opis w tekście)

30 Hz, 60 Hz i 120 Hz. Praktycznie oznacza to, że przyrząd nie może służyć do odfiltrowania określonego pasma częstotliwości. Funkcja jego w zestawie aparaturowym polega na eliminowaniu z poddawanego analizie zapisu magnetycznego wszystkich drgań składowych o częstotliwości wyższej od przyjętej częstotliwości granicznej przyrządu.

Działanie filtra można zobrazować przy pomocy oscylogramów zapisanych przez rejestrator PT 1000/4, podstawiony w miejsce aparatu klasującego (rys. 5). Oscylogram pierwszy obejmuje pełne pasmo częstotliwości zarejestrowane na taśmie magnetycznej, zapisy następne — pasma ograniczone przy pomocy przyrządu do zakresów: 0—120 Hz, 0—60 Hz, 0—30 Hz, 0—16 Hz, 0—8 Hz, 0—4 Hz.

W przeprowadzonych badaniach laboratoryjnych przedstawionym wyżej oscylogramom poszczególnych pasm odpowiadają wartości skuteczne, uzyskane na drodze analizy elektroniczno-statystycznej. Mają one charakter skumulowany i dla uzyskania modeli widma drgań, które mogą być traktowane jako pierwsze przybliżenie analizy widmowej, należało obliczyć wartości skuteczne odpowiadające nie zakresom rozpoczynającym się każdorazowo od 0 Hz, lecz ograniczonym obustronnie pasmom 0—4 Hz, 4—8 Hz, 8—16 Hz, 16—30 Hz, 30—60 Hz, 60—120 Hz. Obliczeń tych dokonywano w oparciu o zależności ustalone przez Mitschkego, przy pomocy wzoru:

$$a = \sqrt{a_2^2 - a_1^2}$$



Rys. 6. Model analizy widmowej drgań ciągnika kołowego (Deutz D-40; prace polowe)

gdzie:

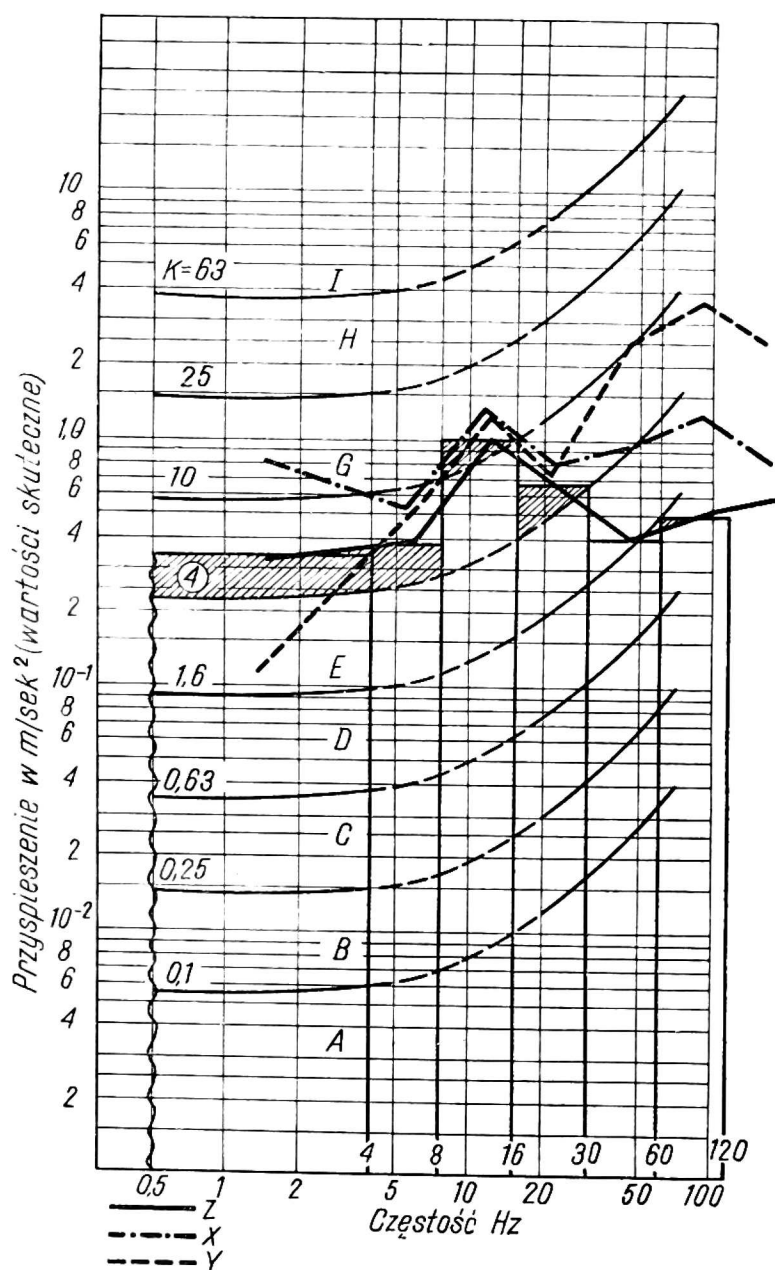
a — poszukiwana wartość skuteczna danego pasma,

a_1 — znana wartość skuteczna dla pasma obejmującego zakres częstości od 0 Hz do dolnej granicy częstości danego pasma,

a_2 — znana wartość skuteczna dla pasma obejmującego zakres częstości od 0 Hz do górnej granicznej częstości danego pasma.

Po przedstawieniu wyników na wykresie, w postaci słupków o wysokości odpowiadającej poziomowi przyspieszeń w danym pasmie częstości, otrzymuje się dla danego zapisu magnetycznego diagram, który może być traktowany jako model analizy widmowej badanego przebiegu drganiowego.

Rysunek 6 przedstawia model analizy widmowej drgań na siedzeniu ciągnika kołowego DEUTZ D-40 (w pracach uprawowych) w konfrontacji z krzywymi jednakowego odczuwania drgań zawartymi w kryteriach Dieckmanna (wg normatywu VDI 2057). Jak widać, w pasmie poniżej 4 Hz intensywność drgań pionowych (Z) i poziomych równoległych do długiej osi ciągnika (X) przekracza krzywą $K = 10$ i osiąga stopień nasilenia G (drgania bardzo silnie wyczuwalne, dopuszczalne przy



Rys. 7. Model analizy widmowej drgań ciągnika gąsienicowego (Hanomag 55; prace polowe)

pracy fizycznej z długimi przerwami w ekspozycji oraz w pojazdach). Jest rzeczą charakterystyczną, że ten sam poziom G osiągają również w zakresie wysokich częstości drgania poziome prostopadłe do długiej osi ciągnika (Y), mogące stanowić zatem w równym stopniu o obciążeniu traktorzysty. Drgania w pasmach średnich nie odgrywają — na ciągniku kołowym — większej roli. Natomiast na ciągniku gąsienicowym (rys. 7) charakterystyczne maksima, występujące w modelach analiz widmowych drgań Z , X , i Y w pasmie 8—16 Hz (częstość ogni w gąsienicy), osiągają również stopień nasilenia G , podobnie jak w zakresie niskich częstości drgania poziome równoległe do długiej osi ciągnika (X).

Z całości przeprowadzonych badań, z których — wobec ograniczonego czasu — tylko fragment mógł być tu przedstawiony, zdaje się wynikać, że w obciążeniu drganiowym traktorzysty obok drgań pionowych, dużą rolę odgrywają drgania poziome, dotychczas w większości prowadzonych badań pomijane. Uwzględnienie w badaniach drgań na ciągniku analiz rozkładów widmowych może doprowadzić do wytłumienia zakresów, w których występujące drgania są najbardziej odczuwalne i dotkliwe, co w rezultacie powinno przynieść efekty praktyczne w postaci zmniejszenia obciążenia drganiowego traktorzysty i poprawy warunków jego pracy.

STRESZCZENIE

Referat, którego pełny tekst znajduje się w materiałach konferencyjnych, omawia metodyczny fragment pomiarów drgań na siedzeniu ciągnika, prowadzonych w aspekcie ergonomicznym. Celem było zbadanie, czy przy pomocy odpowiedniej modyfikacji i rozszerzenia metody elektrostatystycznej analizy drgań istnieje możliwość przeprowadzenia analizy widmowej drgań występujących na siedzeniu ciągnika i — co za tym idzie — pełniejszego niż dotychczas ocenienia, w oparciu o normatywy higieniczne, obciążenia drganiowego ustroju traktorzysty.

Zastosowana metodyka obejmowała:

— rejestrację magnetyczną przyspieszeń drgań na siedzeniu ciągnika testowego (aparatura: indukcyjne czujniki przyspieszeń B 1/250 umieszczone na ciągniku oraz mostki pomiarowe KWS II/5, rejestrator magnetyczny MAS 24, rejestrator graficzny Philips),

— laboratoryjne opracowanie zapisów przy pomocy elektronicznego analizatora rozkładu KS 10,

— opracowanie statystyczne wyników analizy elektronicznej (wg metody Dupuisa i Broichera, zmierzającej do wyliczenia odchylenia standardowego, będącego oszacowaniem wartości skutecznej przyspieszeń zarejestrowanych drgań),

— badania laboratoryjno-statystyczne, zmierzające do uzyskania modeli analizy widmowej drgań.

Opracowanie to polegało na przeprowadzaniu kolejnych analiz tego samego zapisu, ograniczanego — przy pomocy filtru TP 6 — do coraz węższego zakresu częstości. Wyniki analiz, opracowane graficznie w postaci diagramu, mogły być konfrontowane z krzywymi jednakowego odczuwania drgań (wg Dieckmanna).

Badania wykazały, że w obciążeniu drganiowym traktorzysty obok drgań pionowych dużą rolę odgrywają drgania poziome, dotychczas w większości badań pomijane. Uwzględnienie w badaniach drgań na ciągniku analiz rozkładów widmowych może doprowadzić do wytłumienia zakresów, w których występujące drgania są najbardziej odczuwalne i dotkliwe, co w rezultacie powinno przynieść efekty praktyczne w postaci zmniejszenia obciążenia drganiowego traktorzysty i poprawy warunków jego pracy.

ВАЦЛАВ ПЛЕЩИНСКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ НА ТРАКТОРНОМ СИДЕНЬИ

Резюме

В докладе, которого полное содержание находится в материалах совещания, изложены методический фрагмент измерений колебаний на сиденьи трактора, проводимых в эргономическом аспекте.

Проведенные исследования были направлены в первую очередь определения насколько с помощью соответствующей модификации и расширения метода электронно-статического анализа колебаний существует возможность проведения спектрального анализа колебаний, выступающих на сиденьи трактора — и вслед за этим — более полной, чем это было до сих пор, оценки на основе норм гигиены, вибрационных нагрузок на организм тракториста.

Применяемая методика исследований охватывала:

— магнитную запись ускорений колебаний выступающих на сиденьи испытываемого трактора (аппаратура: датчики ускорений В 1/250 расположены на тракторе а также измерительные мосты KWS 11/5, магнитный регистратор MAS 24, графический регистратор Philips,

— лабораторную обработку записей с помощью электронного анализатора составляющих KS 10,

— статическую обработку результатов электронного анализа (по методу Dupuisa и Broichera ведущего к вычислению стандартного отклонения являющегося оценкой эффективной величины ускорений измеряемых колебаний),

— лабораторно-статические исследования, направленные для получения модели спектрального анализа колебаний.

Разработка заключалась в проведении очередных анализов одной и той же записи, ограничиваемой до все более узкого предела частот. Для этой цели использовался фильтр ТР 6. Результаты анализа, представлены в виде диаграмма, можно сопоставить с кривыми одинакового восприятия колебаний (согласно нормы разработанной Dieckmannem).

Результаты исследований свидетельствуют о том, что здесь кроме вертикальных колебаний большое значение имеют горизонтальные составляющие колебаний, до сих пор в большинстве испытаний не учитываемые. Проводя во время исследования колебаний на тракторе анализ спектральных распределений можно получить затухание колебаний в тех диапазонах частот, в которых возникающие колебания наиболее ощутимые и вредные, а это сопровождается практически ощутимым уменьшением колебательных нагрузок на тракториста и повышением гигиенических условий его труда.