

der Basis von mehreren gemessenen Diagnoseparametern eine Zustandsgröße mit größerer Genauigkeit überprüft werden kann. Es ist geplant, daß zukünftig in den großen Pflegestationen für Traktoren, Mähdrescher und andere Maschinen die gegenwärtig weit verbreiteten Geräte und Ausrüstungen des stationären Diagnosesystems KI-5308A-GOSNITI sowie der fahrbaren Diagnoseeinrichtung KI-4270-GOSNITI durch das genannte Diagnosesystem ersetzt werden.

Die Diagnosetechnologie wird unter Berücksichtigung der Pflege-, Wartungs- und Instandsetzungsmaßnahmen (technische Betreuung) von Baugruppen und kompletten Maschinen in Abhängigkeit von deren technischem Zustand ausgearbeitet. Grundlage der Diagnosetechnologie sind technologische Karten, auf denen die anzuwendenden Diagnosegeräte und Ausrüstungen, Benennung und Inhalt der Arbeitsoperationen sowie Normativwerte für die Diagnose vermerkt sind, wie z. B. Überprüfungsintervalle, Arbeitsumfang, Normwerte, Betriebs- und Aussonderungsgrenzen von Diagnoseparametern sowie die Diagnosebedingungen (Kurbelwellendrehfrequenz, Temperatur, Belastungswerte usw.), Anzahl von Prüfenschlossern, ihre Qualifikation und Aufgabenverteilung.

Die technologischen Karten sind so angelegt, daß durch ihre Kombination eine ordnungsgemäße Diagnose bei der planmäßigen Durch-

sicht und den Pflegearbeiten zur Aufdeckung von Schäden gewährleistet wird.

Die Diagnosetechnologie hat eine Reihe von Besonderheiten aufzuweisen:

- Sie ist universell anwendbar für alle Typen einer bestimmten Maschinenart (Traktoren, Lastkraftwagen, Kombines).
- Sie wird unter Berücksichtigung der vereinbarten Diagnosealgorithmen erstellt.
- Sie enthält zur Kennzeichnung der grundlegenden technischen Anforderungen keine Schadensgrenzen, sondern die bei der technischen Betreuung zulässigen Größen der Diagnoseparameter.
- Sie gewährleistet die Restnutzungsdauerprognose von Bauteilen der zu diagnostizierenden Maschinen.

Bei einem zugrunde gelegten Diagnosealgorithmus werden in der erforderlichen Reihenfolge allgemeine Parameter des technischen Zustands gemessen. Wenn die allgemeinen (komplexen — nach TGL 33384. d. Bearb.) Parameter (z. B. die Motorleistung) die zugelassenen Grenzwerte überschreiten, so werden einzelne Diagnoseparameter, die den Zustand der jeweiligen Paarungsteile charakterisieren, gemessen, d. h., bei festgelegtem Diagnosealgorithmus wird die Auswahl der nachfolgenden Überprüfungen von den Ergebnissen der vorhergehenden Überprüfungen bestimmt. Die Diagnose nach vorgeschriebenem Algorithmus erfordert einen zwei- bis dreimal geringeren

Arbeitszeitaufwand im Vergleich mit der Diagnose ohne bestimmten Algorithmus, bei der die Erfassung aller Zustandsparameter vorgesehen ist.

Die Diagnosetechnologie sieht die Restnutzungsdauerprognose für die wichtigsten Baugruppen vor. Bei Ausnutzung der Restnutzungsreserve der Maschine oder ihrer Baugruppen und Aggregate wird die Grundinstandsetzung angeordnet. Bei der Prognose berücksichtigt man die Veränderung der Zustandsparameter und die Nutzungsdauer der Maschine, in der die Veränderungen eingetreten sind. Wenn die Schädigungsgrenzen für die Parameter bekannt sind, bestimmt man nach Nennogrammen, Tabellen oder Formeln die Restnutzungsdauer der Bestandteile der Maschine.

#### Literatur

Rekomendacii po tehničeskomu diagnostirovaniju mašin v sel'skom chozjajstve (Empfehlungen zur technischen Diagnostik von Maschinen in der Landwirtschaft). Moskva: GOSNITI 1977.  
 Tehničeskaja diagnostika traktorov i zernoboročnych kombajnov (Technische Diagnostik an Traktoren und Mähdreschern). Moskva: Kolos 1978.

AÜ 2420

- 1) Übersetzung und Bearbeitung: Dr.-Ing. H.-H. Maack, KDT/Dozent Dr. sc. techn. D. Troppens, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

## Probleme bei der Anwendung der Vibroakustik in der technischen Diagnostik<sup>1)</sup>

Kand. d. techn. Wiss. V. I. Solov'ev, Institut GOSNITI Moskau (UdSSR)

Der größte Nutzeffekt beim Diagnostizieren von Maschinen, vor allem von Dieselmotoren, wird durch die Anwendung universeller Diagnoseverfahren erreicht. Die besten Voraussetzungen dafür bieten die Schwingungsmeßverfahren, die sich durch folgende Vorteile auszeichnen:

- minimaler Arbeitsaufwand bei der Diagnose
- keine besonderen Anforderungen hinsichtlich der Eignung der Maschinen für das Überprüfen
- in einigen Fällen genauere Messung der Zustandsparameter der Maschinen, die eine Automatisierung des Diagnoseprozesses ermöglicht.

Die in der Praxis bisher nur geringe Anwendung vibroakustischer Diagnoseverfahren beim Dieselmotor hat vor allem folgende Ursachen:

- geringe Empfindlichkeit (in bezug auf die Entscheidungsfindung)
- Fehlen von effektiven, qualitativ neuen Methoden der Zerlegung der von den Wirkpaarungen abgetragten Schwingungssignale, der grundlegenden Kriterien für Frequenzselektion und Identifikation der Schwingungserreger des Dieselmotors.

Bei der Lösung von Diagnoseaufgaben mit Hilfe von vibroakustischen Verfahren werden verschiedene Arten des Herangehens an die Problematik praktiziert. Sie bestimmen die Auswahl und Begründung des Diagnoseparameters und den Zusammenhang mit dem Strukturparameter, der direkt den technischen Zustand der

untersuchten Paarung und somit den Diagnosefehler bestimmt. So ist es z. B. bei der Anwendung von Phasenparametern, d. h. der Lage der Schwingungsimpulse der Wirkpaarung auf der Zeitachse des Arbeitszyklus der Maschine, notwendig, daß der jeweilige Impulsbeginn für die Schwingungsamplituden sehr steil verläuft und eine geringe Länge hat und daß der Schallweg möglichst kurz ist. In vielen Fällen darf der Meßfehler für die Phasenwerte 8,75 bis 17,5 mrad (0,5 bis 1°) nicht überschreiten. Für das System der Kraftstoffeinspritzung ist diese Genauigkeit durch die konstruktiven Möglichkeiten ihrer Einstellung am Motor und die technischen Forderungen der Pumpeneinstellung auf einem Prüfstand bedingt. Die gleiche Genauigkeit ist bei der Zustandsbewertung des Mechanismus für die Gaswechselsteuerung erforderlich. In den bekannten Untersuchungen fehlt jedoch eine Lösung für die Aufgabe, die Fehler bei der Messung von Phasenparametern zu verringern.

Die gegenwärtig angewendeten Amplitudenparameter, wie Gesamtschwingungspegel, Pegelwert innerhalb eines bestimmten Frequenzbandes, maximale Amplitudenwerte der Schwingungsimpulse ohne Frequenzselektion, erfordern eine gründliche Analyse hinsichtlich ihres Informationsgehalts, vor allem vom Gesichtspunkt einer Verfälschung der Information des Frequenzspektrums aufgrund der Schwingungsantwort.

Wie Untersuchungen zeigten, stellt der Schwingungsvorgang beim Betrieb eines Dieselmotors

die Antwort auf die stoßförmigen Wechselwirkungen von Mechanismen dar. Der Stoßvorgang hat ein Spektrum  $S(f)$ , dessen Komponenten man abschätzen kann, indem man die Spitzenwerte der Ausgangssignale  $S_{\max}(t)$  mißt, die von einer Reihe von Schmalbandfilterstufen mit der Mittenfrequenz  $f_0$  und einer Bandbreite  $2 \Delta f$  durchgelassen werden. Bei ungestörter Signalübertragung entsteht folgende Beziehung:

$$S(f_0) = \frac{S_{\max}(t)}{4 \Delta f}$$

Infolge der Reaktion eines elastischen Schwingungssystems oder des vibroakustischen Kanals, der das Signal vom Entstehungsort zum Schwingungsaufnehmer überträgt, aber auch aufgrund des Einflusses der untersuchten Paarung auf benachbarte Paarungen, wird das Schwingungssignal verfälscht. Der Grad der Veränderung wird durch die Übertragungseigenschaften dieses Kanals bestimmt. Untersuchungen dieser Übertragungseigenschaften am Beispiel der vibroakustischen Kanäle der Zylinder-Kolben-Gruppe eines Dieselmotors zeigten, daß sich die stärksten Veränderungen des Signals im Niederfrequenz-Bereich (hörbarer Bereich) feststellen lassen, weil sich hier auch am ausgeprägtesten die Resonanzen der Kanäle konzentrieren (Bild 1). Sie sind die Ursache für die Verzögerung der Fronten der Impulse der vibroakustischen Signale, was eine Verfälschung des Verhältnisses der Amplituden

der entsprechenden Signale (am Ausgang und am Punkt der Erregung), aber auch eine Überlagerung dieser Signale auf andere bedeutet. Infolge dieser Erscheinungen treten Schwierigkeiten bei der Signalzerlegung auf, die zu einer ungenügenden Genauigkeit bei der Messung von Phasenparametern und somit zu einer geringen Aussagekraft bei der Diagnose mit Hilfe von Amplitudenparametern führen. Um die Bedingungen für die Filterung des Schwingungssignals zu bestimmen, ist es wichtig, den Zusammenhang zwischen dem Verhältnis Nutzsinal/Störsignal und der Frequenz sowie der Entfernung zwischen Erregerquellen und Anbringungsort des Schwingungsaufnehmers zu betrachten. Unter Ausnutzung der Kenntnisse auf dem Gebiet der Ausbreitung elastischer Schwingungen in festen Körpern kann man zeigen, daß das Verhältnis zweier Signale  $U_1, U_2$  gleicher Frequenz  $\omega$  mit den Signalausbreitungswegen von den Quellen zum Schwingungsaufnehmer  $s_1$  und  $s_2$  in folgender Form darstellbar ist:

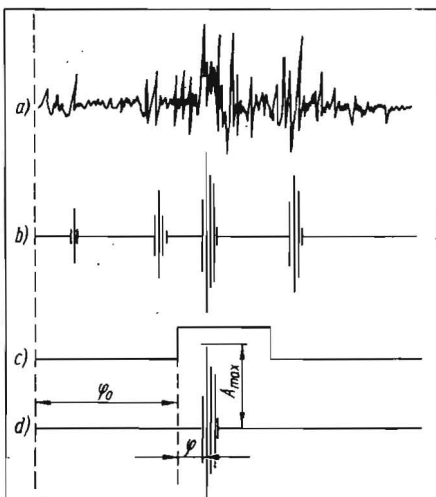
$$\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{\frac{s_2}{s_1}} e^{k \omega (s_2 - s_1)} \frac{\sin \omega \left( t - \frac{s_1}{v} \right)}{\sin \omega \left( t - \frac{s_2}{v} \right)}$$

Dabei ist, wenn  $s_2 > s_1$  wird,  $U_2$  als Störsignal und  $U_1$  als Nutzsinal definiert, so daß der aufgeführte Ausdruck das Verhältnis Nutzsinal/Störsignal darstellt. Man kann zeigen, daß dieses Verhältnis sich mit wachsender Frequenz vergrößert, ebenso wie sich auch das Verhältnis der Signalwege von nicht zu überprüfender und zu überprüfender Paarung entsprechend dem Anbringungsort der Schwingungsaufnehmer vergrößert.

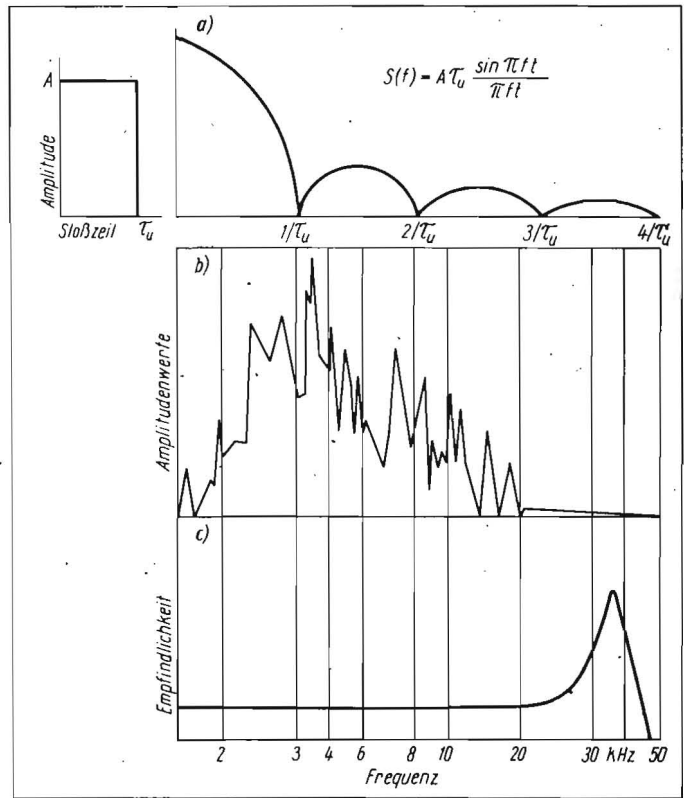
Beachtet man den eben aufgeführten Sachverhalt, kommt man zu der Aussage, daß die Anwendung des Ultraschallbereichs bei der Diagnose von Dieselmotoren von Vorteil ist.

**Bild 2.** Zur Erklärung der Frequenz- und Zeitselektion von stoßerregten Schwingungsimpulsen in Abhängigkeit von der Wechselwirkung in der zu überprüfenden Paarung;

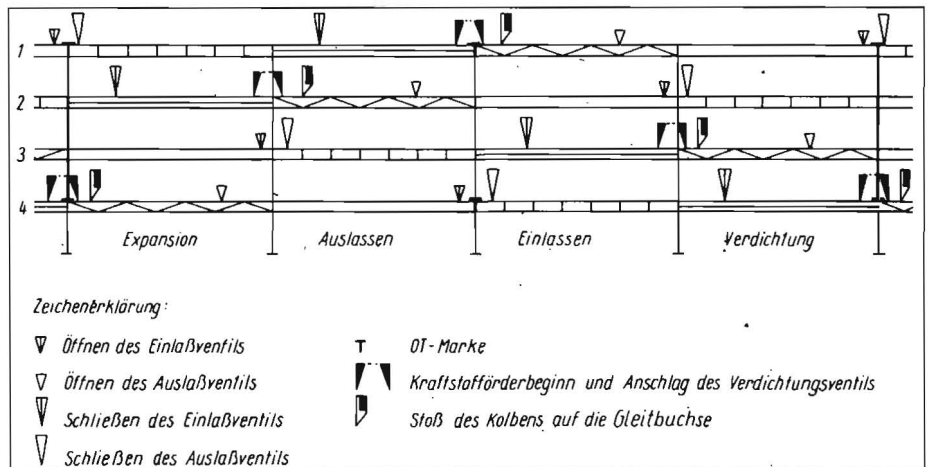
- Schwingungsverlauf ohne Frequenzselektion
- stoßerregter Schwingungsverlauf, gefiltert bei Resonanzfrequenz des Schwingungsaufnehmers
- Strobimpuls,  $\varphi_0$  Phasenlage des Strobimpulses zum Bezugspunkt
- Schwingungsimpuls der zu überprüfenden Paarung innerhalb des Strobimpulses,  $\varphi$  Phasenlage bezüglich Strobbeginn,  $A_{max}$  maximale Amplitude



- Bild 1**  
Zur Bildung des abgegebenen Schwingungssignals bei stoßförmiger Erregung im Dieselmotor:
- Stoßspektrum
  - Frequenzspektrum des Schwingungskanales
  - Frequenzgang des piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmers



**Bild 3**  
Steuerdiagramm für den Dieselmotor D-50



Wird berücksichtigt, daß die Intensität des Stoßes durch seine kinetische Energie bestimmt ist, so ist es zur Verbesserung des Informationsgehalts der Diagnose notwendig, die Parameter des Diagnosesignals mit der Schwingungsenergie zu verknüpfen. Bekannt sind die Vorzüge von piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern als Meßwertgeber, die eine hohe Empfindlichkeit für die Schwingbeschleunigung in einem breiten Frequenzbereich und eine Reihe anderer Vorzüge aufzuweisen haben. Jedoch ist es notwendig, zur Lösung der oben formulierten neuen Aufgabe zur Messung der Geschwindigkeit des Schwingungsvorgangs überzugehen, dessen Filterung in einem schmalen Band des Ultraschallfrequenzbereichs durchgeführt werden muß. Ausgehend von der Theorie des Beschleunigungsaufnehmers erweist sich dieses Vorhaben als möglich, wenn man den vorgegebenen Resonanzbereich ausnutzt, in dem seine Charakteristik ausreichend gut der eines Schwinggeschwindigkeitenaufnehmers entspricht. Der Übertragungsfaktor des Schwingungsaufnehmers ist in diesem Bereich um einige zehnmals größer als in seinem gewöhnlichen Arbeitsgebiet. Deshalb beträgt — ungeachtet der geringen Intensität der hochfrequenten Bestandteile des Erregerspek-

trums — das Signal am Ausgang des Schwingungsaufnehmers einige zehn oder hundert Millivolt, sogar beim Nutzungsbeginn der Maschinen (Bild 1). Wie viele Untersuchungen gezeigt haben, verringert sich mit Spielvergrößerung in den kinematischen Paaren die Stoßzeit, wodurch sich die Energie im Erregerspektrum verschiebt, die Intensität der hochfrequenten Anteile höher und damit diese Methode empfindlicher wird. Wenn man z. B. einen Schwingungsaufnehmer mit einer Resonanzfrequenz oberhalb des Tonfrequenzbereichs wählt und der von ihm aufgenommene Schwingungsvorgang mit Hilfe eines auf die Eigenfrequenz des Schwingungsaufnehmers abgestimmten Schmalbandfilters einer Filterung unterzogen wird (Bild 2), dann ist es möglich, auf diese Weise Bedingungen für eine beträchtliche Senkung des Störpegels zu schaffen. Es werden Impulse geringer Dauer (Stoßdauer) und maximaler Amplitude (Stoßintensität) ausgefiltert. Daraus ergeben sich Möglichkeiten, die Phasenlage von erregten Stößen mit wesentlich geringerem Fehler zu messen. Eine Analyse der Stoßvorgänge des Dieselmotors D-50 während des Betriebs ermöglichte die Feststellung, daß als Stoßerreger der Schwin-

gungsvorgänge hauptsächlich die Mechanismen der Gaswechselsteuerung und der Zylinder-Kolben-Gruppe vorhanden sind. Schwingungen als Antwort auf den Stoß lassen sich beim Betrieb dieser Mechanismen, praktisch am gesamten Motorblock mit unterschiedlicher Intensität beobachten. Es muß auf die Besonderheiten des im Bild 3 dargestellten vollständigen Diagramm dieser Vorgänge in übereinander angeordneten Zyklen aller vier Zylinder des Motors D-50 hingewiesen werden. Der Gaswechselsteuermechanismus erzeugt nur Schwingungsimpulse zum Zeitpunkt des Aufsetzens der Ventile auf den Sitzen. Die hauptsächlichsten Stoßvorgänge zwischen Kolben und Zylinderleitbuchse erfolgen im Expansions-takt zum Zeitpunkt der Kraftstoffzündung, wenn die Prozesse den Impulscharakter der Kolbenseitenkräfte durch die Gase bestimmen. Wie aus dem Diagramm hervorgeht, treten zum Beginn eines jeden Arbeitstaktes zwei Impulse infolge des Aufsetzens der Ventile eines beliebigen Zylinders auf, der erste beim Schließen des Auslaßventils ( $175 \text{ mrad} \approx 10^\circ$  nach OT), der zweite beim Schließen des Einlaßventils ( $803 \text{ mrad} \approx 46^\circ$  nach OT). Es ist ebenfalls zu erkennen, daß sich der Schwingungsimpuls des Kolbenstoßes an der Gleitbuchse mit dem Schließimpuls des Auslaßventils des entsprechenden Zylinders überlagern kann.

Das Steuerdiagramm zeigt die Möglichkeit des unterschiedlichen Einflusses der Impulsabstrahlung vom Ventilmechanismus auf den Stoßimpuls des Kolbens, weil die Abstände zwischen den Ventilen und dem Anbringungsort des Schwingungsaufnehmers nicht gleich sind. Auf den Impuls der Kolben-Gleitbuchsen-Paarung des 1. Zylinders wirkt ein Signal vom Auslaßventil des 4. Zylinders, auf den Impuls der gleichen Paarung des 4. Zylinders wirkt das Signal des Auslaßventils des 1. Zylinders. Entsprechend ist die Beeinflussung zwischen den genannten Baugruppen der Zylinder 2 und 3 vorhanden. Der Einfluß der Ventile des 1. und 4. Zylinders ist aufgrund der räumlichen Entfernung der Baugruppen und der hohen Frequenz des Signalträgers unbedeutend, so daß er vernachlässigt werden kann. Die Beeinflussung zwischen den Zylindern 2 und 3 muß man berücksichtigen. Untersuchungen haben gezeigt, daß bei Anbringung des Schwingungsaufnehmers auf der Stiftschraube des Schaulochdeckels im Bereich des 2. und 3. Zylinders bei anfänglichem Spiel zwischen Kolben und Gleitbuchse das Schwingungssignal von den Ventilen des benachbarten Zylinders den Stoßimpuls des Kolbens verzerrt. Diese Erscheinung kann bis zu einem Spiel von 0,2 mm beobachtet werden. Bei Spielvergrößerung wachsen die Amplituden des Stoßimpulses des Kolbens stark an; dabei verschiebt sich seine Phasenlage so weit, daß er zuverlässig ausgeblendet wird und ohne Störeinflüsse vom Auslaßventil fixierbar ist. Auf Bild 4 sind die Oszillogramme des Stoßimpulses der Zylinder-Kolben-Gruppe bei einem Spiel von 0,5 mm dargestellt.

Die beiden Parameter des Schwingungsimpulses, Amplitude und Phasenlage, beinhalten die Information über das Spiel zwischen Kolben und Gleitbuchse. Die ermittelte Abhängigkeit einer aus 100 Einzelwerten gemittelten Maximalamplitude des Schwingungsimpulses infolge eines Kolbenstoßes von der Größe des Spiels zeigt, daß sich bei Veränderung des Spiels von 0,2 mm bis zum Grenzspiel von 0,5 mm die Maximalamplitude um mehr als das Zehnfache verändert. Die Genauigkeit bei der Messung des Parameters Amplitude beträgt 0,05 mm und ist

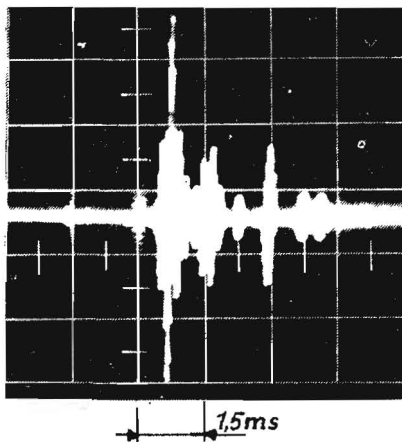


Bild 4. Oszillogramm des Schwingungsimpulses bei einem Spiel zwischen Kolben und Gleitbuchse von 0,5 mm

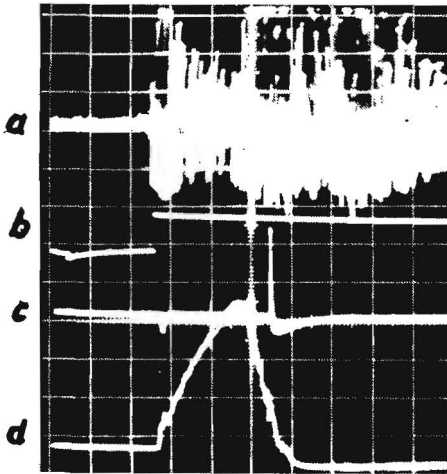


Bild 5. Oszillogramm der Vorgänge am Ausgang der Einspritzpumpe des Dieselmotors D-50: a) Schwingungsvorgang der Kraftstoffabgabe am Ausgang der Einspritzpumpe b) Meßimpuls, durch den Beginn des Schwingungsvorgangs ausgelöst c) Meßimpulse vom Gerät „Monoflash“ der Firma AWL (Österreich) d) Vorgang der Druckänderung am Ausgang der Einspritzpumpe

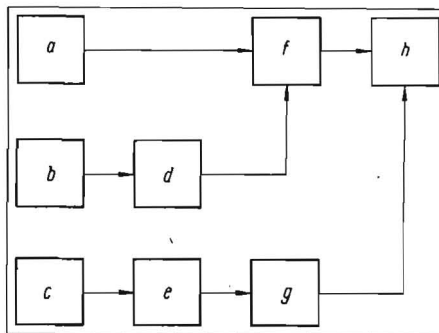


Bild 6. Blockschaftbild der Diagnoseeinrichtung: a Meßwertempfänger für den Bezugspunkt, b Schwingungsaufnehmer für die Synchronisationsschaltung, c Schwingungsaufnehmer für die Meßkette, d, e Bandfilter für die Resonanzfrequenz des Schwingungsaufnehmers, f Rechner-Verarbeitungsblock, g Verstärker, h Anzeigeteil

durch die Anzahl der Einzelwerte bestimmt. Die Genauigkeit erhöht sich also mit der Anzahl der Einzelwerte, wobei dann aber auch mehr Meßzeit benötigt wird. Bei der Analyse des Parameters Phasenlage muß die Bedingung, daß der Kraftstoffeinspritzzeitpunkt konstant ist, er-

füllt sein, wenn eine erfolversprechende Phasenbewertung des Schwingungsimpulses durchgeführt werden soll. Das kann erst bei relativ großen Spielbeträgen zwischen Kolben und Gleitbuchse in bezug auf das anfängliche Spiel ab 0,25 mm erfolgen. Dann tritt nämlich der Fall ein, daß diese Amplitudenwerte die des Störimpulses vom Auslaßventil des betreffenden Zylinders beträchtlich überschreiten. Die kombinierte Ausnutzung beider Parameter ermöglicht es, die Fehler des Verfahrens bedeutend zu senken.

Im Resultat der durchgeführten Arbeiten wurden Abhängigkeiten ermittelt, die den Zusammenhang der Phasenparameter der Schwingungsimpulse charakterisieren. Es sind die Impulse, die beim Aufsetzen der Ventilteller auf den Sitz entstehen. Sie sind ebenfalls bei der Resonanzfrequenz des Schwingungsaufnehmers ausgefiltert worden. Der Aufnehmer war aber auf der Befestigungsschraube des Ventiltdeckels des betreffenden Zylinders befestigt. Bei Veränderung des Kipphebelspiels von 0,1 bis 0,7 mm verändert sich der Schließzeitpunkt um 175 bis 209 mrad (10 bis 12°) Kurbelwinkel. Bei Spielvergrößerung, ausgehend vom Normzustand (beim Motor D-50 z. B. 0,3 mm), wird die Schließphase in Richtung „früher“, bei Spielverringern in Richtung „später“ verschoben. Das Festhalten der Verschiebung der Phasenlage erfolgte mit Hilfe eines digitalen elektronischen Kurzzeitmeßgeräts.

Die Amplitude des Stoßimpulses beim Aufsetzen der Ventile auf ihren Sitz vergrößert sich bei einer Spieländerung von 0,1 auf 0,7 mm gegenüber der Zylinder-Kolben-Gruppe um mehr als das Zehnfache. Auch hier ist eine Mittelwertbildung notwendig. Die Bedingungen für die Ausblendung von Stoßimpulsen sind hierbei wesentlich besser als bei der Zylinder-Kolben-Gruppe, d. h. der analysierte Impuls wird nicht von Störungen anderer Mechanismen überlagert.

Untersuchungen der Anwendbarkeit der ausgearbeiteten Methode für die Zustandsbewertung des Einspritzsystems ergaben die Möglichkeit der Bestimmung ihrer Phasenparameter. Im Bild 5 ist ein Oszillogramm dargestellt, das mit Hilfe eines Fünfstrahl-Katodenstrahloszillografen aufgenommen wurde. Es verdeutlicht die Schwingungsantwort beim Beginn der Kraftstoffförderung. Der erste Strahl kennzeichnet den Schwingungsverlauf, der mit Hilfe eines Schwingungsaufnehmers an der Pumpe abgenommen wurde und mit der Resonanzfrequenz des Aufnehmers gefiltert worden ist. Auf den 2. Kanal wurde ein Meßimpuls gegeben, der entsprechend einem ausgewählten Bezugspunkt gebildet wurde und Beginn des Schwingungsimpulses ist. Die Impulsdauer ist proportional der Größe des Kraftstoffvorauspritzwinkels. Mit Hilfe des 4. und 3. Strahls sind einerseits Druckimpulse an der Einspritzpumpe, die über einen Dehnungsmeßstreifen gemessen wurden, und andererseits die mit dem Meßgerät „Monoflash“ der österreichischen Firma AWL am Beginn und am Ende der Druckimpulse ermittelten Werte gegenübergestellt. Auf dem Oszillogramm ist deutlich die Übereinstimmung zwischen dem Beginn des Schwingungsimpulses und dem Beginn des Druckanstiegs zu bemerken. Durch die Messung des Zeitintervalls zwischen Schwingungsbeginn und OT-Marke ist man in der Lage, den Voreinspritzwinkel des Kraftstoffs für jedes Element der Einspritzpumpe zu ermitteln. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß man Meßgenauigkeiten der Phasenparameter bis 8,73 mrad (0,5°) erreichen kann.



Die Untersuchungen des Stoßvorgangs beim Aufsetzen der Nadel einer Zapfendüse bei definierter Kurbelwellendrehfrequenz zeigte, daß der Impulspegel als zuverlässiges Kriterium der Funktionsfähigkeit der Düse in bezug auf die Federvorspannung und die Qualität des Zerstäubens dienen kann.

Die gezeigten Abhängigkeiten beziehen sich auf das Leerlaufregime des Motors. Folgerichtig soll auf die Möglichkeit der Erhöhung der Genauigkeit der Messung von Parametern bei Dieselmotoren leistungsstarker Traktoren verwiesen werden, die sich dadurch ergibt, daß die Steuerdiagramme günstiger sind und die Entfernungen wegen der Baugröße zwischen den Baugruppen größer werden.

Das oben beschriebene Verfahren der Vibrodiagnostik wurde mit einer Meßeinrichtung realisiert, deren schematischer Aufbau aus Bild 6 hervorgeht. Zum Gerät gehören ein induktiver OT-Marken-Geber a, ein piezoelektrischer Schwingungsaufnehmer des Meßkanals c und zu diesem analog ein Schwingungsaufnehmer für die Synchronisierung b.

Bei der Messung der Zustandsparameter aller Baugruppen von Dieselmotoren wird die Filterung e bei der jeweilig gegebenen Resonanzfrequenz des Schwingungsaufnehmers angewendet. Deshalb muß der Durchlaßbereich des Filters der Stoßdauer der überprüften Paarung entsprechen ( $f_{res} = 35 \text{ kHz}$ ;  $\Delta f = 3 \dots 4 \text{ kHz}$ ). Im Eingangsfiler sind die Elemente für die Abstimmung auf die feste Resonanzfrequenz des Meßwertaufnehmers enthalten, aber die Empfindlichkeit des Aufnehmers wird über die Einstellung des Verstärkungsfaktors des Meßkanals für die Amplitudenwerte entsprechend der Vorgabe eingestellt.

Die Teilsysteme a, b, d und f bilden die sogenannte Phasenverarbeitungseinrichtung. Ihre Aufgabe ist es, einen Strobimpuls entsprechender Phasenlage und Dauer zu erzeugen, um aus allen Signalen des Dieselmotors das Signal der zu überprüfenden Baugruppe zu erzeugen. Die Besonderheit der Phasenaufbereitung im Gerät besteht in der Ausnutzung der Synchronisierung des hochfrequenten Impulses durch entsprechende Formierung, indem ein Schwingungssignal der Einspritzdüse über den Schwingungsgeber b wirkt. Die Impulsfolgefrequenz stimmt mit der Arbeitstaktfrequenz des Motors überein. Der Synchronisierimpuls gestattet zuverlässig jeden beliebigen Wert aus den OT-Marken auszubilden, die ja doppelt je Arbeitszyklus beim Viertaktmotor vorhanden sind und außerdem als Bezugspunkte für die Erzeugung der Strobimpulse bei der Messung der Phasenparameter genutzt werden. Im Anzeigeteil h erfolgt die Ausblendung der

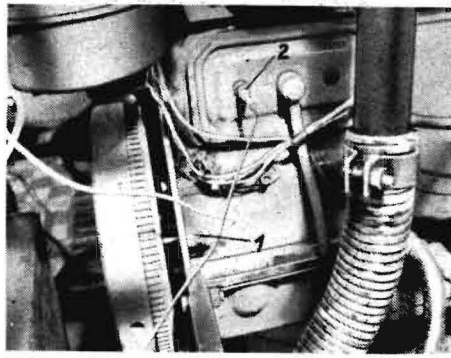
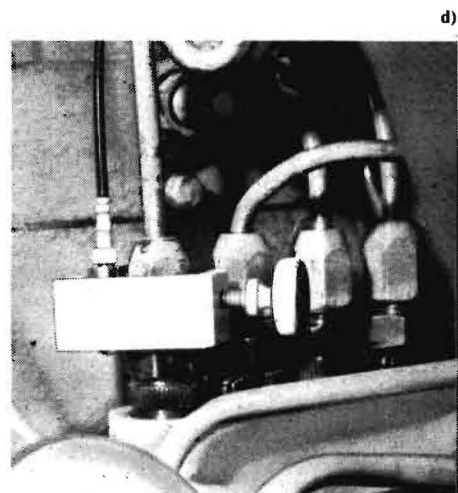


Bild 7. Varianten von Schwingungsaufnehmern:  
a) induktiver Aufnehmer für die OT-Marke (1), Schwingungsaufnehmer für die Diagnose der Zylinder-Kolben-Gruppe (2)



b) Schwingungsaufnehmer für die Zustandsbestimmung der Einspritzdüsen sowie zur Gewinnung des Synchronisierungssignals  
c) Schwingungsaufnehmer für die Messung von Ventilspiel und Gaswechselzeiten  
d) Schwingungsaufnehmer für die Bestimmung des Kraftstoffvorauspritzwinkels

von den zu überprüfenden Paarungen abgestrahlten stoßereigten Schwingungsimpulse in den entsprechenden Strobabschnitten, weiterhin die Erzeugung und Anzeige von Meßsignalen für die Zeitintervalle zwischen Beginn des Schwingungsimpulses und einem Bezugspunkt oder dem Beginn des Strobimpulses sowie auch der mittleren Maximalamplitude eines Schwingungsimpulses für eine bestimmte Anzahl von Werten. Anhand der gemessenen Phasenlage kann entsprechend dem Bezugspunkt sowie der gemittelten Maximalamplitude der Schwingungsimpulse der technische Zustand der untersuchten Baugruppe des Dieselmotors beurteilt werden. In diesem Zusammenhang sei auf die Effektivität der Anwendung von Phasenparametern für

die Diagnostik verwiesen, die es gestatten, die Anforderungen an die Schwingungsaufnehmer (Bild 7) hinsichtlich der Kalibrierung ihrer Empfindlichkeit sowie ihrer Befestigungsart zu vereinfachen. So können zur Befestigung der Schwingungsaufnehmer Klammern, Dauermagnete, Tastspitzen usw. verwendet werden. Das entwickelte Verfahren und die Meßeinrichtung haben ihre hohe Effektivität bei der Einsatzerprobung unter Bedingungen eines Motorenherstellers, aber auch in Diagnosestationen eines Sowchos bewiesen. AÜ 2409

1) Übersetzung und Bearbeitung: Dr.-Ing. H.-H. Maack, KDT/Dozent Dr. sc. techn. D. Troppens, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

## Geräte und Verfahren zur vibroakustischen Diagnostik für die Landtechnik der UdSSR

Dr.-Ing. H.-H. Maack, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

Beim Einsatz von Verfahren der technischen Diagnostik zur demontagelosen Bestimmung des technischen Zustands von Maschinen und Anlagen werden zunehmend Verfahren angewendet, die durch einen geringen Zeit- und

Arbeitsaufwand gekennzeichnet sind. In dieser Hinsicht werden auch vibroakustische Diagnoseverfahren als perspektivreich angesehen [1, 2]. Diese Methoden beruhen auf der Messung und Verarbeitung der von bestimmten

Oberflächen abgenommenen Körper- bzw. Luftschallsignale als Informationsträger für die Bewertung von bestimmten Zustandsgrößen entsprechender Bauteilpaarungen (z. B. Lager-spiele) im Inneren der Maschine.