

Entwicklung der technischen Diagnostik in der UdSSR

Prof. V. M. Michlin, Institut GOSNITI Moskau (UdSSR)

Unter den sich in letzter Zeit stürmisch entwickelnden Wissenschaftsdisziplinen nimmt die technische Diagnostik einen vorderen Platz ein. Sie befaßt sich mit der Untersuchung des technischen Zustands von Maschinen und seiner Erscheinungsformen, mit der Entwicklung von Verfahren und auch mit Fragen des Baus und der Organisation des Einsatzes von Diagnoseeinrichtungen. Die Rolle der technischen Diagnostik wächst kontinuierlich in Hinblick auf rechtzeitige Aufdeckung und Vorbeugung von Ausfällen, rationelle Ausnutzung der Abnutzungsreserven von Maschinen und Verbesserung der Effektivität des Einsatzes der technischen Arbeitsmittel.

Die Schaffung von wissenschaftlichen Grundlagen der technischen Diagnostik, die Entwicklung von Diagnoseeinrichtungen und ihre Überführung in die Serienproduktion sowie ihre breite Einführung gestatten es gegenwärtig, das wichtige Problem der optimalen Leitung des Erhalts des technischen Zustands von Maschinen zu lösen. Für diese Leitung (als Regelkreis aufgefaßt, d. Bearb.) ist vorzusehen (Bild 1):

- Messung von Parametern und Bewertung mit vorgegebenem Fehler σ von qualitativen Merkmalen des Zustands der Maschinen und ihrer Elemente nach einem Nutzungsdauerintervall t_M
- Verarbeitung der Meßergebnisse und Vergleich der Meßwerte mit den zulässigen Grenzwerten D
- Ermittlung der Restnutzungsdauer t_R der

Elemente

- Festlegung der Art (operative oder Grundinstandsetzung) und des Umfangs der Instandsetzungsarbeiten und ihrer Durchführung, um die Wiederherstellung eines bestimmten Niveaus des Zustands zu erreichen, der durch eine mittlere Nutzungsdauer T charakterisiert ist.

Die Sammlung der Daten gewährleistet die Gewinnung von Informationen über Kennziffern der Zuverlässigkeit und Effektivität von Maschinen während ihrer Nutzung, die Überprüfung eingeleiteter Maßnahmen durch den Vergleich der zu erwartenden und praktisch gewonnenen Kennziffern sowie die Korrektur der eingeleiteten Maßnahmen mit dem Ziel, minimale Abweichungen in bezug auf die Vergleichskennziffern zu erlangen.

Durchgeführte Untersuchungen haben gezeigt, daß die technische Diagnostik drei grundlegende Funktionen im Prozeß der Leitung der Erhaltung des Maschinenzustands zu erfüllen hat:

- Informationsgewinnung über den konkreten Maschinenzustand
- Verarbeitung und Analyse der erhaltenen Informationen
- Entscheidungsvorbereitung bzw. Entscheidungsfindung (Ausgabe einer anweisenden Information).

Es wurde festgestellt, daß die effektive Durchführung der technischen Diagnose es jetzt schon gestattet, nicht nur den Maschinenzustand zu beeinflussen, sondern auch auf die Strategie der Pflege und Wartung und der vorbeugenden Instandsetzung entsprechend dem jeweiligen Zustand Einfluß zu nehmen, wenn man eine maximale Anzahl von Merkmalen für die Leitung ausnutzt. Die Planmäßigkeit wird durch eine vorgeschriebene technische Überprüfung (nach bestimmter Leistung oder Nutzungsdauer) der Maschinen erreicht.

Die Forschungsarbeiten zur Entwicklung der technischen Diagnostik zur Leitung der Erhaltung des technischen Zustands von Maschinen mit großen Produktionsstückzahlen, wozu in der UdSSR Traktoren und Lastkraftwagen

zählen, werden in drei Hauptrichtungen durchgeführt:

- Diagnoseverfahren
- Diagnoseeinrichtungen
- Diagnosetechnologien.

Bei der Entwicklung der Diagnoseverfahren wird gegenwärtig den universellen Methoden, wie den vibroakustischen, den Methoden der Spektralanalyse von Öl sowie den Methoden zur Ausnutzung von Übergangsprozessen große Aufmerksamkeit gewidmet. Bei jedem dieser Verfahren ist nur eine Anbringung von ein bis zwei Meßwertaufnehmern (bzw. die Ölprobennahme) für die Überprüfung von mehreren Zustandsparametern der Maschinen erforderlich, außerdem ist eine einheitliche Gerätetechnik und Verarbeitung der elektrischen Signale realisierbar.

Diesbezüglich erweist sich insgesamt die vibroakustische Methode als überaus perspektivreich. Die große Meßunsicherheit dieser Verfahren wird durch eine kürzere Dauer der Überprüfung kompensiert. Wie Forschungsergebnisse gezeigt haben, kann die Meßgenauigkeit durch eine wirksamere Selektion des Signals, vor allem durch Messungen im Resonanzfrequenzbereich der Schwingungsaufnehmer, vermindert werden.

Untersuchungen zeigten, daß vibroakustische Diagnoseverfahren breite Anwendung bei der Überprüfung der Einspritzpumpen von Dieselmotoren, der Zylinder-Kolben-Gruppe, der Steuermechanismen für den Gaswechsel von Motoren sowie der Antriebsbaugruppen von Traktoren und Kraftfahrzeugen finden können.

Die Methode der Spektralanalyse von Öl ist hinsichtlich der Informationsgewinnung an den Elementen den vibroakustischen Verfahren unterlegen. Derzeitig ist erstere aber bequemer und zuverlässiger bei der Diagnose mit Hilfe von komplexen Zustandsparametern, die den Zustand von Aggregaten und Baugruppen vor dem Ausfall ausdrücken. Durch die Anwendung der entwickelten Laboreinrichtung KI-13915-GOSNITI für die Spektralanalyse von Öl wurde die Möglichkeit einer effektiven Diagnose von

Fortsetzung von Seite 393

gen speziell auf eine Baugruppe beziehen und nur für Großbaugruppen zu verallgemeinern sind.

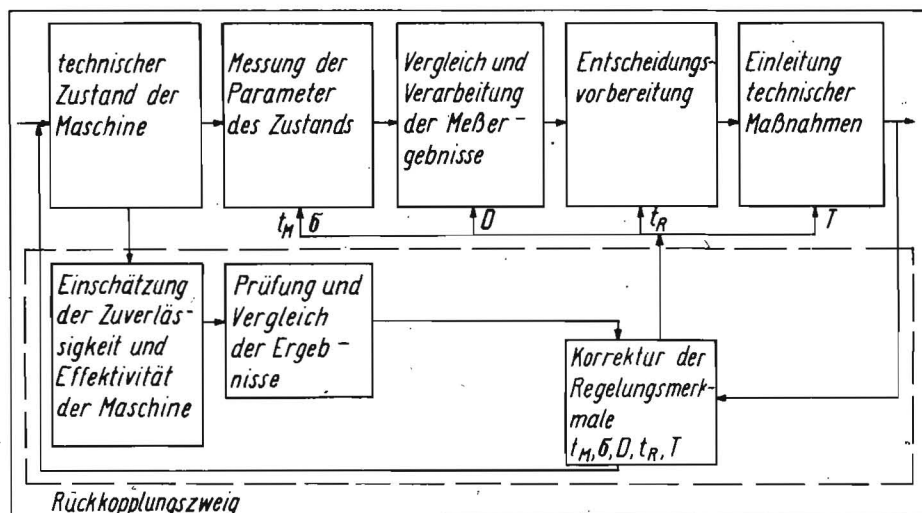
Ausgehend jedoch von der Tatsache, daß Großbaugruppen wertmäßig einen größeren Anteil am Gesamtumschlag als Kleinbaugruppen aufweisen, können die Ergebnisse unter Berücksichtigung tatsächlich vorhandener Parameter für eine Variantenauswahl genutzt werden.

Literatur

- [1] Eichler, C.: Instandhaltungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1977.
- [2] Preisanordnung Nr. 3030/3. Änderung des Güter- und Kraftverkehrsbedarfes (GKT) vom 1. Nov. 1966 (Stand 1. April 1976).
- [3] Schiroslawski, W.: Zur Kalkulation der Verluste infolge Ausfall mittels Reservemaschine. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Manuskript 1976 (unveröffentlicht).
- [4] Baram, C.G.; Potapkov, N.N.; Barbina, E.P.: Metodika opredelenija veličiny poter' zakas prostoja mobil'noj sel'skochozjajstvennoj tehniki v polevodstve (Methode zur Bestimmung der Kosten für eine Stunde Stillstand der mobilen Landtechnik). Institut GOSNITI Moskau, 1975.
- [5] Eichler, C.: Grundlagen der Spezialisierung von Baugruppeninstandsetzungsbetrieben. Berlin: VEB Verlag Technik 1962.
- [6] Reichel, M.: Berechnung der Größe von Austauschstöcken für Baugruppen in Abhängigkeit von Bedarf und Lieferregime. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Forschungsbericht 1977 (unveröffentlicht).
- [7] Wille, A.-E.: Untersuchung zum zeitlichen Ablauf des Baugruppentausches. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Großer Beleg 1979 (unveröffentlicht).

A 2468

Bild 1. Schema der Regelung des technischen Zustands von Maschinen



800 bis 1000 Traktoren je Anlage geschaffen. Diagnoseverfahren unter Ausnutzung von Übergangsvorgängen werden gegenwärtig im großen Umfang bei der Leistungsmessung von Motoren mit dem Gerät IMD-2M angewendet. Vielversprechende Aussagen bezüglich der Bestimmung des Zustands wurden durch die Anwendung dieses Verfahrens bei Einspritzpumpen, hydraulischen Antrieben und anderen Mechanismen von Maschinen mit größeren Produktionsstückzahlen ermittelt. Bei der Entwicklung und Schaffung von Diagnoseeinrichtungen kann man drei Richtungen unterscheiden:

- Entwicklung einfacher und zuverlässiger Gerätesätze, die vorzugsweise auf mechanischen, hydraulisch-pneumatischen und elektrischen Meßmitteln basieren, die bei der einfachen technischen Betreuung eingesetzt werden
- Entwicklung einfacher, universeller elektronischer Geräte vorzugsweise für allgemeine Diagnosen, die für die operative Überprüfung von Maschinen bei der technischen Durchsicht vor dem Kampagneinsatz angewendet werden
- Entwicklung vielseitiger automatischer Diagnosestationen, die bei komplizierten technischen Überprüfungen (z. B. bei der Pflegegruppe TO-2 von Lkw und TO-3 von Traktoren; Pflegegruppen nach Standard GOST. d. Bearb.), aber auch bei der Einschätzung der Fertigungs- und Instandsetzungsqualität von Maschinen angewendet werden.

Ein Ergebnis der ersten Entwicklungsrichtung stellt der tragbare Gerätesatz KI-13901-GOSNITI (Bild 2) dar, der weit verbreitet ist und für die Diagnose von Traktoren und Mähdreschern eingesetzt wird. Der Gerätesatz ist in einem tragbaren Koffer untergebracht und besteht aus Meßgeräten, Vorrichtungen und Werkzeugen. Mit seiner Hilfe können 36 verschiedene Parameter des technischen Zustands von Maschinen überprüft werden. Der Gerätesatz wird bei einfachen Pflege- und Wartungsarbeiten eingesetzt (bei Traktoren für die Gruppen TO-1 und TO-2).

Ein Ausführungsbeispiel für die zweite Entwicklungsrichtung ist das bereits genannte Gerät IMD-2M, das für die operative Diagnostik von Dieselmotoren vorgesehen ist und ohne Abbremsung die Bestimmung der effektiven Leistung insgesamt bzw. einzelner Zylinder auf der Basis der Drehfrequenz der Kurbelwelle ermöglicht. Der Meßbereich für die Motorleistung reicht bis 230 kW bei einem Meßfehler bis 3 %.

Zu dieser Entwicklungsrichtung muß man auch den Motortester KI-4897-GOSNITI für die Komplexdiagnose von Kfz.-Ottomotoren zählen. Er ist eine modernisierte Ausführung des Motortesters KI-5524-GOSNITI, in dem das Oszilloskop durch eine Einrichtung ersetzt ist, die automatisch das Diagnoseergebnis nach dem Prinzip „geeignet“ oder „ungeeignet“ ausgibt. Zu den perspektivischen Diagnosegeräten dieser Entwicklungsrichtung gehört ein universeller automatisierter Motortester für Otto- und Dieselmotoren.

Ein Resultat der dritten Entwicklungsrichtung ist ein umfassendes Diagnose- und Prognose-System, das für die automatisierte Diagnose der Maschinen und Baugruppen von Traktoren, Mähdreschern, Lkw und auch der komplizierten Ausrüstungen von Tierproduktionsanlagen vorgesehen ist. Das System (Bild 3) besteht aus einem Hauptmeßblock, einer Fernsteuerung und einem Block für die Übertragungen. Diese

Bild 2
Tragbarer Diagnosekoffer KI-13901-GOSNITI

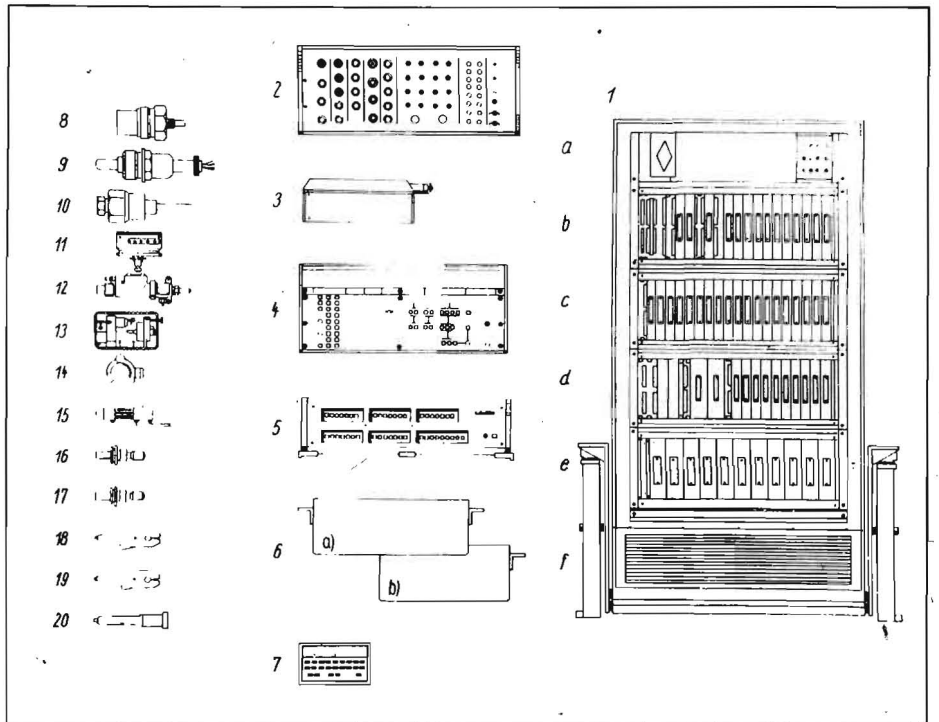
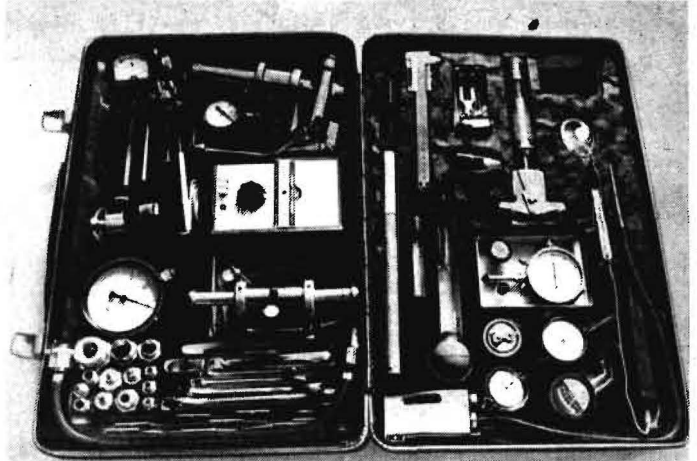


Bild 3. Hauptbaugruppen des Diagnosesystems; 1 Meßschalttafel (a Programmblock, b Block für A/D-Umsetzer, c Steuerblock, d Komparatorblock, e Block für D/A-Umsetzer, f Speiseblock), 2 Übertragungsblock, 3 Zifferndrucker, 4 Steuerpult, 5 Programmeingabepult, 6 Block mit auswechselbaren Filtern a und Kassetten b, 7 tragbares Pult, 8 Meßwertnehmer für Druck, 9 Meßwertnehmer für Temperaturen von Flüssigkeiten, 10 Meßwertnehmer für Schwingbeschleunigungen, 11 Meßwertnehmer für Winkeländerungen, 12 Meßwertnehmer für Kraftstoffdurchfluß, 13 Meßwertnehmer für Gasvolumenstrom, 14 Meßwertnehmer für Oberflächentemperatur, 15 Nebenwiderstand (Shunt), 16 Drehfrequenzmarkengeber, 17 Markengeber für die Winkelbeschleunigung, 18 kapazitiver Spannungsteiler, 19 Markengeber für Stromimpulse, 20 Stroboskoplampe

Diagnoseeinrichtung ermöglicht das Ausdrucken der Ergebnisse für die Auswertung und die Messung der Parameter bei stationären und nichtstationären Betriebsbedingungen. Man wählt den zu bestimmenden Parameter an einem Tastensteuerpult. Das System enthält einen Block für die Schwingungsmessung und realisiert die Diagnoseverfahren auf der Basis von Übergangsvorgängen bei Anwendung von speziell angepaßten Meßwertnehmern, um den Arbeitsaufwand für die Messungen erheblich zu vermindern. Der Übergang von der Diagnose des einen Maschinentyps auf die eines anderen erfolgt durch den Wechsel der Meßwertnehmer mit Hilfe einer Umschalteinrichtung sowie des Magnetbands der Programmschaltung.

Die Gesamtanzahl der Kanäle im Diagnosesystem beträgt 399, davon sind 350 Meßkanäle, 34

dienen der äußeren Sichtkontrolle, 15 zur Selbstüberprüfung.

Die Information über den Zustand des Diagnoseobjekts wird vom Meßwertgeber aufgenommen und kommt auf den Eingang des Übertragungsblocks. Danach gelangt die Information auf Abruf durch die Programmeinheit über Wandler zur Normierung auf einen A/D-Umsetzer und über eine Einheit zur Bildung des Maßstabs zur Digitalanzeige, wo der gemessene Wert des betreffenden Parameters abgelesen werden kann.

Gleichzeitig erfolgt der Vergleich des Signals mit den zulässigen Grenzwerten. Die Nummer des Parameters, die Ergebnisse der Messung und Bewertung werden ausgedruckt.

Je nach Erfordernis kann das automatisierte Diagnosesystem die Korrelationen zwischen mehreren Parametern verwirklichen, so daß auf

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 Diagnostik¹⁾

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