

INTERNATIONAL CONFERENCE: DYNAMICS OF MINING MACHINES
DYNAMACH '89

Dieter GÖDECKER

Staatliche Materialprüfungsamt
Nordrhein-WestfalenSCHWINGUNGS- UND SCHOCKPRÜFUNGEN VON BERGWERKSMASCHINENTEILEN
MIT SERVOHYDRAULISCHEN PRÜFEINRICHTUNGEN

Inhaltsangabe. Einen bedeutenden Anteil der Prüfungen im Materialprüfungsamt NRW nehmen Sicherheitsprüfungen für den Bergbau ein, wobei die Prüfungen des modernen Schreitausbans einen Schwerpunkt bilden. Ein großer Teil der Prüfungen ist hierbei dynamischer Art. Es werden vier wesentliche dynamische Belastungsarten von Bergbauausrüstungen kurz beschrieben. Zur Simulation stoßartiger Belastungen verfügt das MPA einen Schlagbelastungsprüfstand. Zur Simulation der schnellen Hangendablenkungen wird ein Horizontal-Kombinationsprüfstand verwendet. Der Aufbau einer servohydraulischen Schwing- und Schockprüfeinrichtung und ihre Versuchsdurchführung mit Beispielen wird dargestellt werden. Zwei Systeme FFT-Analyse mit Personal-Computer in mehrkanaliger Ausführung stehen dem MPA zur Verfügung und werden zur Frequenzanalyse bei Schwingprüfungen eingesetzt.

1. Das Staatliche Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen

Das Staatliche Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen ist eine staatliche Einrichtung, die 1947 gegründet wurde. Das Amt untersteht dem Minister für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen und hat die Aufgabe, moderne und leistungsfähige Prüftechnik für Wirtschaft und Verbraucher bereitzustellen. Das Amt ist unabhängig und neutral.

Einen bedeutenden Anteil der hier getätigten Prüfungen nehmen Sicherheitsprüfungen für den Bergbau ein, wobei die Prüfungen des modernen Schreitausbans einen Schwerpunkt bilden.

In der Prüfhalle 16 für Ausbau, Großkonstruktionen und Hydraulik verfügt das MPA NRW über leistungsfähige Prüfeinrichtungen, die einen hohen Sicherheitsstandard in wesentlichen Bereichen des Bergbaus als auch in anderen Industriezweigen garantieren.

Hiermit werden wichtige Beiträge zur Entwicklung und Vorerprobung modernster Techniken, die den wachsenden Anforderungen hinsichtlich Funktionsicherheit und Leistungsfähigkeit auch in Zukunft gerecht werden, geleistet. Geprüft wer-

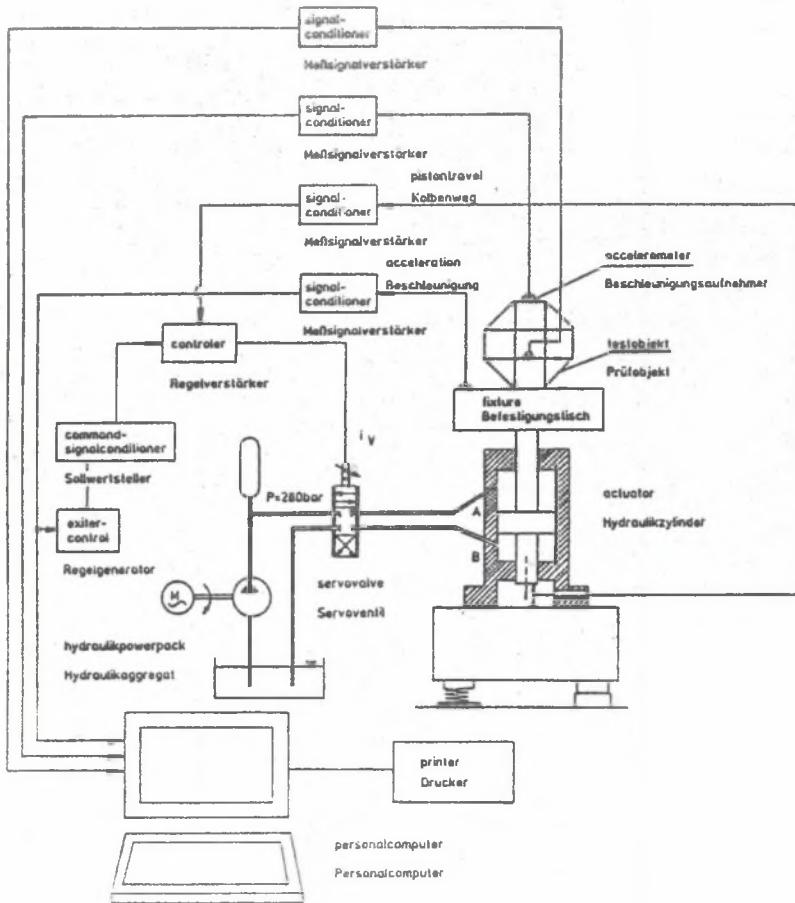


Bild 1. Aufbau einer servohydraulischen Schwing- und Schockprüfeinrichtung

den komplette technische Systeme sowie einzelne Bauteile im Originalmaßstab. Ein großer Teil der Prüfungen ist hierbei dynamischer Art.

2. Dynamische Beanspruchungsarten von Bergbauausrüstungen

Die dynamischen Beanspruchungen von Bergbauausrüstungen treten zu verschiedenen Zeiten an unterschiedlichen Orten auf und sind daher unterschiedlicher Art. Vier wesentliche dynamische Belastungsarten werden im folgenden kurz beschrieben.

2.1 Dynamische Beanspruchungen bei der Montage

Die ersten dynamischen Beanspruchungen erfahren die Bauteile der Bergwerksausrüstungen bereits bei der Montage. Ein mittlerer Hammerschlag mit einem 1 kg Handhammer erreicht bereits kurzzeitige Beschleunigungen bis zu 400 g. Der Einsatz von motorisch angetriebenen Schraubwerkzeugen und anderen Montagehilfen führt ebenfalls zu nennenswerten Erschütterungen, die insbesondere bei empfindlichen elektronischen Bauteilen bereits zu Schäden führen können.

2.2 Dynamische Beanspruchungen beim Transport

Ganz erhebliche dynamische Beanspruchungen erfahren die Bauteile beim Transport vom Herstellerwerk zum Einsatzort unter Tage. Das Ver- und Umladen, die Lkw-Fahrten sowie sonstige Transporte enthalten oftmals Schockbelastungen bis zu 30 g sowie Vibrationsbelastungen mit Frequenzen bis 60 Hz, manchmal sogar noch höher. Hierdurch sind vielfach Schäden an Maschinenteilen zu erklären, die in der Endkontrolle der Fertigung für gut befunden wurden, jedoch beim Erreichen ihres Einsatzortes nicht mehr funktionstüchtig sind.

2.3 Geodynamische Beanspruchungen

Eine weitere dynamische Beanspruchungsart sind geodynamische Beanspruchungen, wie sie in vielen untertägigen Abbaurevieren auftreten. Hierbei treten nennenswerte Beschleunigungen auf. Die aufgezeichneten Messungen der Seismometer in Grubenwarten des osteuropäischen Steinkohlenbergbaus belegen dies. Die Belastungen sind auch hierbei nicht nur einmalig stoßartig sondern oftmals auch periodisch schwingender Natur.

2.4 Selbsterregte dynamische Beanspruchungen

Beim Betrieb von z. B. Gewinnungs- und Fördermaschinen erregen rotierende und oszillierende Maschinenteile zum Teil die kompletten Konstruktionen, zum Teil aber auch nur zur Maschine gehörende Einzelteile zu starken Vibrationen an. Sind die Erregerfrequenzen im Bereich der Eigenfrequenzen schwingender Bauteile, kommt es zu Resonanzüberhöhungen, so daß sehr frühzeitig mit Schäden gerechnet werden muß.

3. Prüftechnische Simulation dynamischer Beanspruchungen

Bereits in der Entwicklung von Bergwerksmaschinen sollten die Konstrukteure stets die genannten dynamischen Beanspruchungsarten berücksichtigen.

Durch den Einsatz von Dämpferelementen z. B. in den Befestigungen, durch die Wahl geeigneter Steifigkeiten, Vermeidung von Unwuchten sowie durch die Verwendung geeigneter Verpackungen für den Transport können Entstehung und Einfluß von Stoß- und Schwingbeanspruchungen wirksam reduziert werden. Die bezüglich der Konstruktion hierfür benötigten Daten lassen sich in der Regel einfacher aus Messungen unter definierten Bedingungen ermitteln, als diese aus einer Berechnung unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren zu bestimmen.

Definierte Bedingungen liegen vor, wenn labormäßig mit geeigneten Prüfsystemen die im Betrieb zu erwartenden dynamischen Beanspruchungen nachgebildet werden. Die künstliche prüftechnische Simulation der Beanspruchungen hat gegenüber den in der Praxis oftmals nur spontan auftretenden Schwingungen den Vorteil, daß die Schock- und Schwingvorgänge eindeutig analysierbar sind und ein breites Belastungsspektrum bzw. weitere Amplituden- und Frequenzbereiche einstellbar sind.

3.1 Simulation geodynamischer Beanspruchungen des Grubenausbaus

Die geodynamischen Beanspruchungen sind zum einen durch stoßartige Vorgänge z. B. bei Gebirgsschlägen, zum anderen durch gleichförmige Beschleunigungen bei schnellen Hangendabsenkungen.

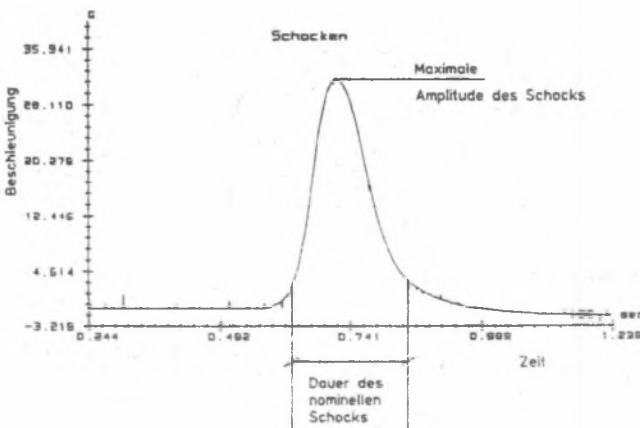


Bild 2. Halbsinusförmiges Schocksignal einer servohydraulischen Prüfeinrichtung

Zur Simulation stoßartiger Beanspruchungen, wie sie bei Gebirgsschlägen auftreten, verfügt das Materialprüfungsamt über einen Schlagbelastungsprüfstand.

In dem Prüfstand fällt eine zwischen 1000 kg und 20000 kg variable Fallmasse im freien Fall aus ebenfalls zwischen 0 und 6 m variabler Fallhöhe auf in der Regel mit einer Vorlast verspannte hydraulische Stempel und Zylinder. Auch komplette Ausbaugestelle können hier stoßartig belastet werden.

Zur Simulation der schnellen Hangendabsenkungen und der damit verbundenen schnellen Stempeleinschübe wird neben einer stehenden servohydraulischen Prüfmaschine ein Horizontal-Kombinationsprüfstand verwendet. In ihm werden über einen horizontal angeordneten Prüfzylinder, der über ein servohydraulisches Ventil mit einem Nennvolumenstrom von 9000 l/min gesteuert wird, Stempeleinschübe bis zu Geschwindigkeiten von 1 m/s, Einschubwegen bis zu 400 mm und Kräften bis zu 4000 kN erzeugt.

Auf weiterführende Einzelheiten der Prüfungsdurchführungen und -ergebnisse soll hier nicht eingegangen werden.

3.2 Umweltsimulation durch Schwingungs- und Schockprüfungen

Die eingangs aufgeführten dynamischen Beanspruchungen sind im wesentlichen Einflüsse, die aus der Umwelt auf die Maschinen einwirken, und nach dem Gesetz von aktio = reaktio von ihnen auch an die Umwelt abgegeben werden. Man spricht daher bei den Schwingungs- und Schockprüfungen von Umweltprüfungen oder einer Umweltsimulation. Über die mechanischen Schwing- und Schockprüfungen gibt es eine Vielzahl von nationalen und internationalen Vorschriften, deren Ursprung bis auf ganz wenige Ausnahmen in Prüfvorschriften für militärische Geräte und Bauelemente liegt. Für die Prüfungen von Bergwerksmaschinen, insbesondere von elektronischen und elektrohydraulischen Teilen einschließlich zugehöriger Kabel und Sensoren werden im Materialprüfungsamt die Vorschriften und Empfehlungen der DIN 40046 oder wenn vorhanden die IEC Publikation 68-2 angewendet.

3.2.1 Aufbau einer servohydraulischen Schwing- und Schockprüfanlage

Als Schwingerreger für die dynamischen Umweltprüfungen stehen im allgemeinen Maschinen mit mechanischen, elektrodynamischen, pneumatischen und hydraulischen Arbeitsprinzipien zur Verfügung. Im Materialprüfungsamt werden ausschließlich (servo)hydraulische Prüfeinrichtungen verwendet, die mit einem Frequenzbereich bis zu 1000 Hz und Beschleunigungen bis zu 80 g die üblicherweise geforderten Bereiche insbesondere bei der Prüfung von Bergwerksausrüstungen abdecken. Für die Prüfung von Bergwerksausrüstungen werden überwiegend sinusförmige Schwingprüfungen im Frequenzbereich 10 - 55 Hz sowie halbsinusförmige Schockbelastungen bis zu 30 g gefordert.

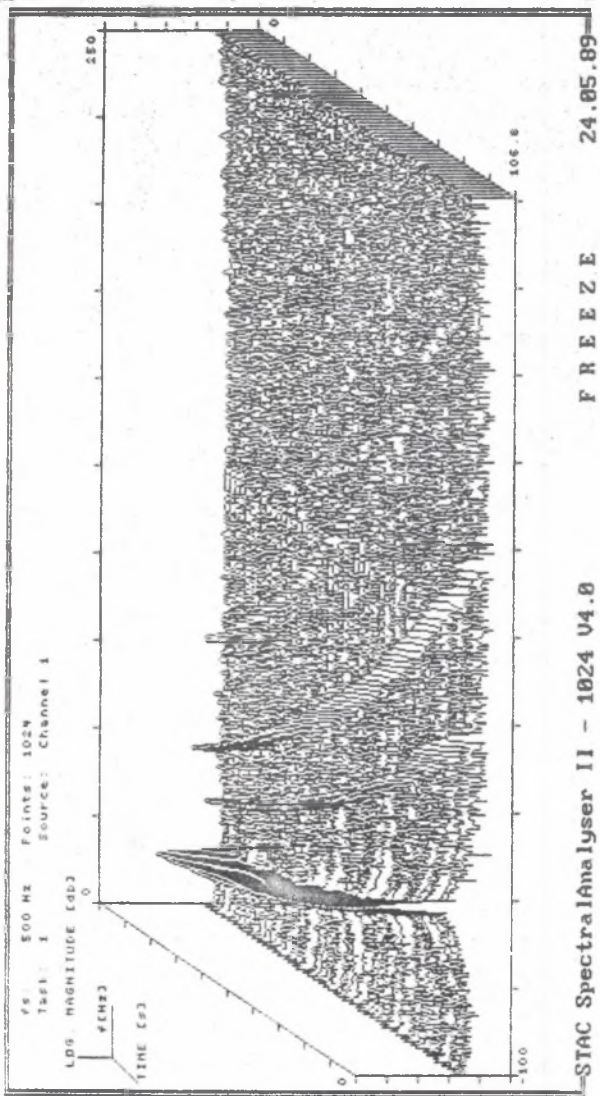


Bild 3. Dreidimensionale Darstellung (Wasserfalldiagramm) der Fast-Fourier-Transform Analyse einer Schwingungsprüfung

In Bild 1 ist schematisch der Aufbau einer servohydraulischen Schwing- und Schockprüfeinrichtung dargestellt. Sie arbeitet im geschlossenen Regelkreis und wird überlagert, weg- und beschleunigungsgeregelt. Als Sollwertsteller dient bei dem Prüfungsaufbau ein Regelgenerator, der bei den Schwingungsprüfungen im allgemeinen einen Sinus gleitender Frequenz vorgibt. Über den Sollwertsteller wird die Führungsgröße auf den Regelverstärker gegeben, der die Stellgröße bzw. den notwendigen Ventilstrom i_v auf das Servoventil gibt. Die Istwerte der Regelstrecke - Zylinderweg/Beschleunigung an der Prüflingsbefestigung - werden auf Regelgenerator und Regelverstärker zurückgeführt.

Bei dem Prüfsystem ist darauf zu achten, daß die Prüffrequenz nicht in dem Bereich der Eigenfrequenz von Prüfzylinder und Fundament liegt. Die Platte, auf der der Prüfling befestigt wird, sollte zur fehlerfreien Übertragung der Erregerfrequenz eine möglichst gute Eigendämpfung aufweisen und daher aus entsprechendem Material (Aluminium, Kunstharzpreßholz usw.) bestehen. Die für die dynamischen Prüfungen im Staatlichen Materialprüfungsamt NRW verwendeten Hydraulikzylinder sind sogenannte Hydropulszylinder - geschützte Bezeichnung der Fa. Schenck -, die mit hydrostatischen Lagern ausgerüstet sind und daher hohe Frequenzen nahezu verschleißfrei gestatten.

Das hydrostatische Lager besteht aus mehreren Taschen, in denen sich bei der Querkraft $F_Q = 0$ ein Innendruck von ca. 140 bar einstellt.

Zur Zylindersteuerung werden mehrstufige Servoventile verwendet, die in der ersten Stufe nach dem Prinzip des "Torque Motors" (Fa. Moog) arbeiten. Der Ventilstrom i_v magnetisiert den Anker, wodurch im sogenannten Drehmotor (torque motor) ein Moment entsteht, welches die Steuerzunge zwischen den Düsen positioniert. Die Position der Steuerzunge zwischen den Düsen beeinflußt deren Durchflußwiderstand. Zwischen den Kanälen "a" und "b" stellt sich ein Differenzdruck ein, der den Steuerkolben verschiebt und damit zu einer Bewegung des Zylinders führt.

Die geschilderten servohydraulischen Prüfsysteme gestatten bei entsprechenden Frequenzgängen der Servoventile und geeigneter Zylinderauswahl Prüffrequenzen bis zu 1000 Hz und Beschleunigungen bis zu 80 g. Der Vorteil der hydraulischen Prüfsysteme insbesondere bei Prüfungen von Bergwerksmaschinenteilen gegenüber anderen Systemen liegt darin, daß einerseits bei den meist vorhandenen hohen Nennkräften der Zylinder auch große Bauteile geprüft werden können, andererseits die Zylinder auch für sonstige statische und dynamische Zug- und Druckprüfungen verwendet werden können.

3.2.2 Versuchsdurchführung mit Beispielen

Bei der Versuchsdurchführung ist es wichtig, serienmäßig montierte Bauteile zu verwenden und die Schwingungen und Schocks über die betriebsmäßig vorgesehenen Befestigungen einzuleiten. Zur Erzielung reproduzierbarer Prüfergebnisse ist

die richtige Wahl der Meßpunkte von entscheidender Bedeutung. Der Meßpunkt zur Regelung der Maschine sollte unmittelbar im Bereich der Prüflingsbefestigung liegen. Daneben sollte möglichst noch ein Kontrollpunkt vorhanden sein.

4. FFT-Analyse mit Personal-Computer

Seit einigen Jahren werden auf dem Markt Meß- und Auswertesysteme auf der Basis von Personal-Computern angeboten, die Frequenzanalysen mit Hilfe von Fast-Fourier-Transformationen durchführen.

Zwei solcher Systeme in mehrkanaliger Ausführung stehen dem Staatlichen Materialprüfungsamt zur Verfügung und werden zur Analyse bei Schwingprüfungen eingesetzt. Die bei der Schwingungsprüfung an den Prüfteilen gemessenen Antwortsignale werden mit Beschleunigungsaufnehmern zeitabhängig aufgezeichnet. Die Signale sind im allgemeinen nicht nur einfach periodisch wie z. B. eine Sinuswelle, sondern sie setzen sich aus der Überlagerung verschiedener Frequenzkomponenten zusammen. Die Trennung dieser Komponenten ist in vielen Fällen für eine umfassende Auswertung und Beurteilung der Meßsignale unerlässlich. Die Fast-Fourier-Transform Analyse ist eine Methode, die Aufspaltung in einzelne Frequenzkomponenten zu erreichen. Das mathematische Hilfsmittel ist die Fourier-Transformation, die die gemessenen Signale in ihre Einzelkomponenten zerlegt und vom Zeitbereich in den Frequenzbereich überträgt. Die Fast-Fourier-Transformation arbeitet auf der Grundlage der Diskreten-Fourier-Transformation, bei der nur endliche Zeitintervalle abgetastet werden. Im allgemeinen werden je nach Frequenz und Zeitintervall pro Signal 128 - 1024 Punkte abgetastet. Dabei ist es unbedingt notwendig, daß die Abtastfrequenz mindest doppelt so hoch ist wie die größte im zu messenden Signal enthaltene Frequenz (Nyquist Frequenz). Wird dies nicht berücksichtigt, tritt der sog. "Aliasing-Effekt" auf und es kommt zu Analysefehlern.

Schneidet man aus einem periodischen Signal z. B. 1024 Punkte für eine Analyse heraus, so erhält man am Anfang und am Ende Sprünge oder Diskontinuitäten, die ebenfalls zu Analysefehlern führen können. Um dies zu vermeiden, stehen eine Anzahl von Bewertungsfenstern zur Verfügung. Die Bewertung der Signale in den Fenstern verläuft von Null ausgehend ansteigend bis zu einem Maximum in der Mitte und zum Ende wieder auf Null abfallend.

Die Darstellung der mit dem Personal-Computer berechneten und analysierten Signale ist in unterschiedlichen Formen möglich. Neben der Auswahlmöglichkeit, linear oder logarithmisch darzustellen, kann die Darstellung linien- oder balkenförmig oder auch dreidimensional erfolgen.

Die dreidimensionale Darstellung in Form eines "Wasserfalldiagramms" mit logarithmischer Skalierung der Amplitude ist hierbei sehr anschaulich. In Bild 3 ist eine Frequenzanalyse dargestellt, die bei einer Schwingungsprüfung einer elektronischen Ausbausteuering aufgezeichnet wurde. Das Erregersignal war ein gleitender Sinus, die Meßfrequenz 500 Hz und die Anzahl der Meßpunkte 1024. In dem Bild sind 50 solcher durchgeführten Analysen räumlich hintereinander aufgetragen. Es ist deutlich zu erkennen, daß neben der Erregerfrequenz noch andere Frequenzen vorhanden sind, bei denen jedoch keine Resonanzüberhöhungen auftreten. Die durchgeführte Prüfung führte zu keinen Schäden an der Steuerung, die dann auch ohne Probleme in den Einsatz gegangen ist.

Im Staatlichen Materialprüfungsamt NRW wird weiterhin an einer Verbesserung der geschilderten Prüfsysteme gearbeitet. Einen entscheidenden Beitrag könnte hierbei in Zukunft der Einsatz neuer berührungsloser optischer Meßsysteme wie z. B. dynamische Lasermeßsysteme oder holographische Meßsysteme leisten.

LITERATUR

- [1] Cyril M. Harris: Shock and vibration handbook Mc Graw-Hill Book Company, New York, ..., Hamburg, ..., Toronto (third edition).
- [2] T. Beth: Verfahren zur schnellen Fourier-Transformation, B.G. Teubner, Stuttgart 1984.
- [3] Brüel & Kjaer: Frequency analyses Revised Edition September 1987.
- [4] Brüel & Kjaer: Mechanical Vibration and Shock Measurements, April 1984.
- [5] Rolf-Dieter Schwall: Servovalves, Carl Schenck AG, Darmstadt, PAB PAB 101 e.
- [6] Rolf-Dieter Schwall: Operating Range of Actuator/ Servovalve Combinations, Carl Schenck AG, Darmstadt, PAB 102 e.
- [7] Ziegler-Instruments GmbH: Dokumentation Software SIGNALYS, Mönchengladbach 1987.
- [8] STAC GmbH: Spectral Analyser II, User's Manual, Düsseldorf 1987.

BADANIE DRGAŃ I UDERZEŃ W ELEMENTACH MASZYN GÓRNICZYCH ZA POMOCĄ URZĄDZEŃ SERWOHYDRAULICZNYCH

S t r e s z c z e n i e

Znaczący udział w zakresie badań prowadzonych w MPA NRW zajmują badania diagnostyczne dla górnictwa, przy czym punkt ciężkości stanowią badania nowoczesnych obudów kroczących. Duża część tych badań dotyczy obciążeń dynamicznych. Zostaną krótko opisane cztery istotne rodzaje obciążeń dynamicznych elementów maszyn górniczych. MPA dysponuje odpowiednim stanowiskiem badawczym do symulacji obciążeń uderzeniowych. Do symulacji szybkiego osiadania stropu służy kombinacyjne stanowisko pionowe. Przedstawiona zostanie budowa i możliwości badawcze serwohydraulicznego urzę-

dzenia do badania drgań i uderzeń. Do analizy częstotliwościowej drgań wykorzystywane są dwa systemy analizatorów FFT wspomaganym komputerem personalnym z wyposażeniem wielokanałowym.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИ ПОМОЩИ СЕРВОГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ
УДАРОВ И КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ГОРНЫХ МАШИН

Р е з ю м е

Большое место в исследованиях проводимых в МПА НРВ занимают диагностические исследования для горной промышленности, причем, центральное место в этих исследованиях занимают исследования современных шагающих крепей. Большая часть исследований охватывает динамические нагрузки. В работе коротко описаны четыре главных типа динамических нагрузок элементов горных машин. В МПА имеются соответствующие измерительные стенды для симулирования ударных нагрузок. Для симулирования быстрого оседания кровли служит комбинированный вертикальный стенд. Представлена конструкция и испытательные возможности сервогидравлических устройств для исследования ударов и колебаний. Для частотного анализа колебаний используются две системы анализаторов ФФТ оборудованных персональным компьютером с многоканальным оборудованием.