

dr inż. ANDRZEJ PYTLIK
dr inż. KRZYSZTOF PACZEŚNIEWSKI
Główny Instytut Górnictwa
mgr inż. DARIUSZ KOT
dr inż. JERZY KRODKIEWSKI
Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG

System pomiarowy do badania statycznego i dynamicznego ciśnienia w stojakach hydraulicznych sekcji obudowy zmechanizowanej

Measuring system for testing static and dynamic pressure load in hydraulic legs of the powered roof support

W artykule przedstawiono metodykę pomiarów dynamicznych obciążeń sekcji obudowy zmechanizowanej wywołanych wstrząsami górotworu oraz opisano system pomiarowo-rejestrujący umożliwiający prowadzenie długotrwałych badań obciążenia sekcji obudowy w wyrobisku ścianowym. Opracowany w Centrum EMAG System Rejestracji Ciśnienia Statycznego i Dynamicznego RECS umożliwia archiwizację przebiegów ciśnienia zarejestrowanych w trakcie dynamicznego oddziaływania górotworu na sekcje obudowy z częstotliwością 5 kHz oraz statycznych przebiegów czasowych z częstotliwością 1 Hz. Dane pomiarowe są archiwizowane lokalnie w przenośnym module pamięci. Wszystkie urządzenia systemu charakteryzują się wysoką odpornością na narażenia mechaniczne oraz są przystosowane do długotrwałej pracy w warunkach silnego zapylenia i dużej wilgotności charakterystycznych dla przodka ścianowego.

In the paper the methodology of the measurement of dynamic load of powered roof supports caused by rock bursts has been discussed and the measurement system for long-term registration of support unit loads in the mine working has been presented. The RECS measurement system for static and transient pressure registration, developed in the EMAG Centre, enables the acquisition of transient pressure time series with the sampling rate of up to 5 kHz and static pressure time series at the rate of 1 Hz. Measurement data are stored locally in the portable memory module. All system components are of very rugged construction and are especially designed for long-term operation in the dusty and damp environment of the coal face.

1. WPROWADZENIE

Problematyka badań dynamicznych obciążeń sekcji obudowy zmechanizowanej w wyrobisku ścianowym, wywołanych wstrząsami górotworu jest w nie-

1. INTRODUCTION

The issue of dynamic load of powered roof supports in longwall faces, caused by rock bursts, has not been thoroughly investigated in Poland. Significant

wielkim stopniu rozpoznana w Polsce. Ważny wkład dla rozwoju powyższej tematyki ma dr hab. inż. Stanisław Szweda, którego praca [9]: „Identyfikacja parametrów charakteryzujących obciążenie sekcji obudowy zmechanizowanej spowodowane dynamicznym oddziaływaniem górotworu”, stanowi podstawę dla metodyki i systemu pomiarowo-rejestrującego opracowanego przez autorów niniejszego artykułu. Problematyka obciążeń dynamicznych wywołanych tąpnięciami rozwijana jest również w Głównym Instytucie Górnictwa [1, 2, 4].

Dotychczasowe próby rejestracji obciążeń dynamicznych w wyrobiskach ścianowych odnosiły się głównie do wstrząsów wywołanych detonacją materiału wybuchowego, które jednak nie odzwierciedlają rzeczywistego charakteru obciążeń wywołanych samoistnymi wstrząsami naturalnymi. Jedyne w Polsce zarejestrowany przebieg obciążenia dynamicznego sekcji obudowy wywołany samoistnym wstrząsem górotworu, dokonany przez dr hab. inż. Stanisława Szwedę, nie pozwala na określenie zależności korelacyjnych pomiędzy wartością tego obciążenia a wartością energii sejsmicznej wstrząsu, odległością źródła wstrząsu od wyrobiska oraz prędkością narastania obciążenia. Określenie powyższych zależności pozwoliłoby na bardziej precyzyjny dobór obudowy zmechanizowanej pracującej w wysoko wydajnych kompleksach ścianowych, zarówno kombajnowych jak i strugowych, do warunków zagrożenia tąpnięciami.

Uzyskane z prezentowanego systemu pomiarowego informacje będą wykorzystane do analizy oddziaływania stropu wyrobiska na obudowę oraz umożliwią weryfikację w warunkach dołowych skuteczności stosowanych środków ochrony przed tąpnięciami. Zebrane informacje pozwolą w przyszłości na optymalny dobór sekcji obudowy, a w szczególności stojaków i zaworów bezpieczeństwa, do rzeczywistych warunków panujących w wyrobisku ścianowym oraz pozwolą producentom na dalsze doskonalenie konstrukcji obudowy.

2. METODYKA BADAŃ STATYCZNYCH I DYNAMICZNYCH OBCIĄŻEŃ SEKCJI OBU- DOWY ZMECHANIZOWANEJ W WYROBI- SKU ŚCIANOWYM

Metodyka badań statycznych i dynamicznych obciążeń sekcji obudowy zmechanizowanej opiera się na następujących założeniach:

- pomiar przebiegów czasowych siły obciążającej sekcję obudowy zmechanizowanej będzie odbywał się pośrednio, poprzez równoczesny pomiar ciśnienia w dwóch stojakach sekcji obudowy. Częstotli-

contribution to the development of the issue was made by Stanisław Szweda, Senior D Sc, whose paper [9] “Identification of parameters characterizing the load of the powered roof support caused by dynamic impact of the rock mass” is the basis for the methodology as well as the measuring and monitoring system developed by the Authors of this paper. The issue of dynamic load caused by rock bursts has been developed in the Central Mining Institute (GIG) too [1, 2, 4].

The field trials that have been performed so far to register dynamic load in longwall faces referred mainly to rock bursts caused by the detonation of explosives. Such bursts, however, do not reflect the real character of load caused by natural rock bursts. The only time series of the dynamic load of a powered roof support, caused by a natural burst of the rock mass, was registered in Poland by Stanisław Szweda, Senior D Sc. Nevertheless, it does not allow to determine the correlations between the value of the load and the value of the rock-burst seismic energy, the distance between the rock burst source location and the coalface, as well as the load increase rate. If the above dependencies could be determined, it would allow more precise selection of a powered roof support working in high-efficiency coal face systems, both with cutter-loaders and ploughs, with respect to the rock-burst hazards conditions.

The data achieved from the presented measuring system will be used to analyze the impact of the excavation roof on the roof support. They will also make it possible to verify, in the underground conditions, the efficiency of protection against rock bursts. In the future, the collected data will enable optimum selection of a powered roof support, particularly legs and safety valves, with respect to real conditions in a longwall face. Additionally, they will allow the manufacturers to improve the design of the support.

2. THE METHODOLOGY OF TESTING STATIC AND DYNAMIC LOAD OF THE POWERED ROOF SUPPORT IN A LONGWALL FACE

The methodology of testing the static and dynamic load of the powered roof support is based on the following principles:

- the time series of the force which loads a powered roof support will be measured indirectly by simultaneous measurements of pressure in two legs of the support. The sampling frequency (common for

- wość próbkowania (wspólna dla obydwu kanałów ciśnienia) powinna być w zakresie od 1 kHz do 5 kHz.
- dane pomiarowe powinny być archiwizowane w pamięci przenośnej o dużej pojemności. Przebiegi ciśnienia zarejestrowane w trakcie dynamicznego oddziaływania górotworu na obudowę powinny być archiwizowane z częstością równą częstości próbkowania, a statyczne przebiegi czasowe z częstością co najmniej 1 Hz.
 - system pomiarowy musi być synchronizowany czasowo z siecią sejsmologiczną,
 - wybór miejsca badań powinien charakteryzować się dużym prawdopodobieństwem wystąpienia obciążenia dynamicznego sekcji, spowodowanego samoistnym zjawiskiem dynamicznym,
 - wymagana jest konieczność prowadzenia długotrwałych badań obciążeń sekcji obudowy w wyrobisku ścianowym.

Pomiary obciążenia dynamicznego sekcji obudowy zmechanizowanej należy prowadzić w wyrobiskach, w których są zapewnione poprawne warunki utrzymania stropu. Dlatego po ustaleniu lokalizacji miejsca wykonywania pomiarów należy przeprowadzić obliczenia, których celem jest:

- określenie stopnia upodatnienia sekcji obudowy oraz wartości siły w stojakach równoważającej statyczne obciążenie zewnętrzne, zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 1,
- wyznaczenie wskaźnika utrzymania stropu g wyrobiska, dla sprawdzenia, czy badana sekcja obudowy zmechanizowanej zapewnia dobre warunki utrzymania stropu wyrobiska (należy unikać miejsc, gdzie mogą wystąpić zmiany obciążenia sekcji, których źródło nie jest wywołane samoistnym wstrząsem).

System pomiarowy, w zależności od potrzeb, może być ulokowany w jednej lub w kilku sekcjach obudowy. Zaleca się jednak, aby w jednej ścianie oczujnikowane były co najmniej dwie przyległe sekcje obudowy.

Na podstawie zarejestrowanych przebiegów czasowych ciśnienia w stojakach hydraulicznych w funkcji czasu, energii wstrząsu oraz parametrów geologiczno-górnictwowych, określana będzie prognoza maksymalnych obciążeń obudowy zmechanizowanej. Jednym z najbardziej istotnych parametrów charakteryzujących obciążenie dynamiczne wg Szuścika jest prędkość przyrostu obciążenia v_t określana ze wzoru:

$$v_t = \frac{k_d - 1}{\Delta t} \quad (1)$$

gdzie:

k_d – współczynnik dynamiczny, definiowany jako stosunek największego obciążenia sekcji do jej obciążenia statycznego,

Δt – czas przyrostu obciążenia,

v_t – prędkość przyrostu obciążenia.

both pressure channels) should be in the range between 1 kHz and 5 kHz.

- The measuring data should be stored in a big-capacity portable memory module. Dynamic pressure time series should be recorded at full sampling rate and static time series should be recorded with the frequency of at least 1 Hz.
- the measuring system has to be synchronized in time with the seismic network,
- the place selected for tests should have large probability of dynamic load of the powered roof support, caused by a natural dynamic phenomenon,
- it is required to carry out long-term tests of the load of the roof support in a longwall face.

The measurements of dynamic load of the powered roof support have to be carried out in the workings with proper roof-maintenance conditions. Therefore, after the place for measurements is selected, it is necessary to carry out calculations with a view to:

- determine the support yield capability and the value of the force in the legs which would counterbalance the sustained external load, according to the diagram presented in Fig. 1,
- determine the roof support indicator g of the longwall face in order to check whether the tested powered roof support ensures good roof support conditions (it is necessary to avoid places where it is likely to have changes in the load of the support and their source is not caused by a natural rock burst).

Depending on the needs, the measuring system can be located in one or several support units. However, it is recommended that at least two adjacent supports in one face should be equipped with pressure transducers.

The prognosis of the maximum load for the powered roof support will be determined based on the registered time series of the pressure in hydraulic legs, rock-burst energy, as well as geological and mining parameters. One of the key parameters of dynamic load is, according to Szuścik, the load increase rate v_t determined from the following formula:

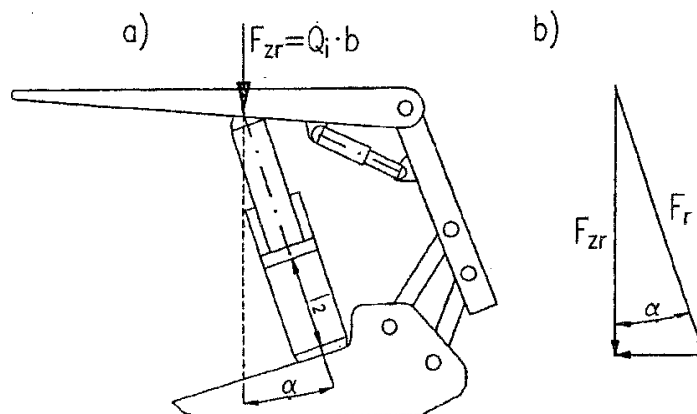
$$v_t = \frac{k_d - 1}{\Delta t} \quad (1)$$

where:

k_d – dynamic coefficient, defined as a relation between the highest load of the support and its sustained load,

Δt – load increase time

v_t – load increase rate.



Rys. 1. Schemat obciążeniowy sekcji obudowy zmechanizowanej obrazujący obciążenie stojaka hydraulicznego a) – schemat sekcji obudowy, b) – rozkład sił w sekcji obudowy, F_{zr} – podporność robocza sekcji, F_r – podporność robocza stojaka, Q – statyczne obciążenie obudowy zmechanizowanej, b – podziałka sekcji, l_2 – wysokość słupa cieczy pod tłokiem, i – liczba stojaków w sekcji, α – kąt odchylenia stojaka od osi sekcji,

$$F_r = \frac{Q_i \cdot b}{i \cdot \cos \alpha}, \text{ gdzie } \alpha=0 \text{ dla obudowy podporowej (stojaki prostopadle do stropnicy), } \alpha>0 \text{ dla obudowy}$$

podporowo-osłonowej (stojak nachylony w stosunku do stropnicy)

Fig. 1 The load diagram of the support unit illustrating the load of the leg

a) – support unit diagram, b) – distribution of forces in the support unit, F_{zr} – yield force of the support unit, F_r – yield force of the leg, Q – static load of the powered roof support, b – distance between support unit centers, l_2 – height of liquid column under the piston, i – number of legs in the support unit, α – the yaw angle of the leg from the axis of the support unit,

$$F_r = \frac{Q_i \cdot b}{i \cdot \cos \alpha}, \text{ where } \alpha=0 \text{ for the standing support (legs perpendicular to the canopy), } \alpha>0 \text{ for the chock-shield}$$

powered support (the leg inclined towards the canopy)

Na podstawie powyższych parametrów weryfikowany będzie sposób upodatkowania sekcji obudowy [5, 6, 7, 8, 10], którego podstawą jest porównanie przewidywanych obciążeń sekcji, będących skutkiem wstrząsu górotworu, z jej rzeczywistą podpornością nominalną.

Przyjmując, że o podporności sekcji decyduje stojak hydrauliczny, do niego odniesiono przeciążenie, z uwzględnieniem kinematyki sekcji. Powinien być zatem spełniony warunek:

$$F_{obl\ max} < F_N \quad (2)$$

gdzie:

$F_{obl\ max}$ – maksymalna wartość prognozowanego obciążenia stojaka wyznaczona obliczeniowo, N

F_N – nominalna podporność stojaka.

Maksymalną wartość prognozowanego obciążenia stojaka oblicza się dla całego zakresu wysokości sekcji z uwzględnieniem jej konstrukcji i wartości bezwymiarowego współczynnika dociążenia n_{lz} jako pochodnej energii wstrząsu i odległości środka warstwy tąpącej od pułapu wyrobiska, z zależności:

Based on the above parameters, the method ensuring powered roof support yield capability will be verified [5, 6, 7, 8, 10], and the basis for that will be the comparison of the expected loads of the support, resulting from rock bursts, with the rated support bearing force.

If we assume that the support bearing force depends on the leg parameters, the load was referred to the leg with respect to the kinematics of the support. Therefore the following condition has to be fulfilled:

$$F_{obl\ max} < F_N \quad (2)$$

where:

$F_{obl\ max}$ – maximum value of the predicted load of the leg, N

F_N – rated bearing force of the leg, N.

The maximum value of the predicted leg load is calculated for the whole range of the support height, taking into account its structure and the value of the non-dimensional load coefficient n_{lz} as a derivative of the rock-burst energy and the distance between the centre of the rock-burst layer and the roof of the longwall face, from the following dependence:

$$n_{tz} = 1 + \frac{n_{zr}}{0,04 \left(\frac{H_t}{E_t} \right)^{0,7} + 0,04 H_t + 0,5} \quad (3)$$

gdzie:

n_{zr} – współczynnik uwzględniający położenie rozpa-
trywanego wyrobiska,

H_t – odległość pionowa środka warstwy tąpnięcej od
pułapu wyrobiska wybierkowego, m

E_t – prognozowana energia wstrząsu górotworu, MJ.

Współczynnik dociążenia n_{tz} jest wyznaczony
w oparciu o pracę prof. A. Bilińskiego dla górotworu
naruszonego. Wartość współczynnika dociążenia dla
warunków kopalń węgla kamiennego w Polsce za-
wiera się (w większości przypadków) w przedziale
1,05÷1,8 w odniesieniu do wartości roboczej.

Wartość maksymalną przewidywanego przeciąże-
nia stojaka F_{oblmax} wyznacza się analitycznie w opa-
rciu o model o jednym stopniu swobody i stałych
skupionych, z zależności:

$$f(t) = \frac{1}{\cos \alpha} \{ F_w + F_d [1 + k_d e^{-\delta t} - \sin(\omega t - \varphi)] \}, \text{ N} \quad (4)$$

gdzie:

F_w – podporność wstępna, N

$F_d = F_r \cdot n_{tz} - F_w$ – siła dynamiczna dociążenia, N

k_d – współczynnik dynamiczny,

ω – prędkość kątowna (pulsacja układu drgającego),
 s^{-1}

φ – kąt przesunięcia przebiegu siły w odniesieniu do
wymuszenia, rad

α – kąt odchylenia stojaka od normalnej do spąg-
nicy, rad

δ – tłumienie zastępcze jako pochodne działania
zaworów hydraulicznych i oporów ruchu góro-
tworu, s^{-1}

t – time, s

F_r – podporność robocza, N

n_{tz} – współczynnik dociążenia.

Dla współczynnika dociążenia o wartości $n_{tz} > 1,25$
przeprowadza się dodatkowe badania stojaka wraz
z układem sterującym i zabezpieczeniami, wykorzy-
stując do tego celu stanowisko do badań dynamicz-
nych za pomocą uderu masy. Energię uderu masy E_u
oblicza się z zależności:

$$E_u = m_u g h, \text{ J} \quad (5)$$

gdzie:

m_u – masa uderowa,

g – przyspieszenie ziemskie, ms^{-2}

h – wysokość spadku masy uderowej obliczana ze
wzoru:

$$n_{tz} = 1 + \frac{n_{zr}}{0,04 \left(\frac{H_t}{E_t} \right)^{0,7} + 0,04 H_t + 0,5} \quad (3)$$

where:

n_{zr} – coefficient representing the location of the given
longwall face,

H_t – vertical distance between the centre of the rock-
burst layer and the face roof, m

E_t – predicted energy of the rock-mass burst, MJ.

The load coefficient n_{tz} is determined for the loos-
ened rock mass on the basis of Prof. A. Biliński's
work. The value of the load coefficient, for the condi-
tions of Polish hard coal mines, is included (in most
cases) in the range of 1.05÷1.8 with respect to the
working value.

The maximum value of the predicted overload of
the leg F_{oblmax} is determined based on a model with
one degree of freedom and lumped constants, from
the following dependence:

$$f(t) = \frac{1}{\cos \alpha} \{ F_w + F_d [1 + k_d e^{-\delta t} - \sin(\omega t - \varphi)] \}, \text{ N} \quad (4)$$

where:

F_w – setting bearing force, N

$F_d = F_r \cdot n_{tz} - F_w$ – setting bearing force, N

k_d – dynamic coefficient,

ω – angular speed (pulsation of the oscillating cir-
cuit), s^{-1}

φ – shift angle of the force with respect to input
function, rad

α – yaw angle of the leg from the normal to the
support base, rad

δ – equivalent damping resulting from the hydraulic
valves operation and rock displacement re-
sistance, s^{-1}

t – time, s

F_r – yield force, N

n_{tz} – load coefficient.

For the load coefficient of $n_{tz} > 1.25$, extra tests of
the leg, equipped with the control system and protec-
tion devices are carried out. This is done on a stand
for dynamic tests and with the use of body impact.
Body impact energy E_u is calculated from the follo-
wing dependence:

$$E_u = m_u g h, \text{ J} \quad (5)$$

where:

m_u – impact body,

g – gravitational acceleration, ms^{-2}

h – height of impact body drop calculated from the
following formula:

$$h = \frac{0,02 \cdot n_{tz} \cdot l_{\min} \cdot F_r}{g \cdot m_u}, \text{ m} \quad (6)$$

gdzie:

l_{\min} – wysokość stojaka dla minimalnej wysokości roboczej sekcji, m.

Zarejestrowany przebieg ciśnienia w badanym stojaku, w funkcji czasu, jest podstawą dla oceny skuteczności upodatnienia. Przyjmuje się, że spełnione są wymagania upodatnienia jeżeli zachowany jest warunek:

$$P_{\max} < P_N \cdot k_N \quad (7)$$

gdzie:

P_{\max} – maksymalna wartość zarejestrowanego ciśnienia podczas próby, t, Pa

P_N – ciśnienie nominalne badanego stojaka, Pa

k_N – współczynnik statycznego przeciążenia stojaka wg normy.

Dodatkowo wymaga się, aby był utrzymany minimalny słup cieczy pod tłokiem $l_{h\min}$ dla całego zakresu wysokości roboczej sekcji obudowy, który obliczamy ze wzoru:

$$l_{h\min} \geq 0,15(l_h + l_m), \text{ m} \quad (8)$$

gdzie:

l_h – skok hydrauliczny stojaka, m

l_m – skok mechaniczny stojaka, m.

Jest to bardzo istotny warunek z uwagi na stosowanie w warunkach występowania wstrząsów górotworu stojaków o różnych konstrukcjach, a tym samym o różnych sztywnościach i możliwości dyssypacji energii uderzenia.

3. SYSTEM POMIAROWY DO BADANIA STATYCZNYCH I DYNAMICZNYCH OBCIĄŻEŃ SEKCJI OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ W WYROBISKU ŚCIANOWYM

Na podstawie założeń opracowanych w Zakładzie Badań Urządzeń Mechanicznych GIG, w Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG opracowano i wykonano „System pomiarowy do statycznej i dynamicznej rejestracji ciśnienia RECS” [3], którego zestawienie urządzeń przedstawiono na rys. 2.

$$h = \frac{0,02 \cdot n_{tz} \cdot l_{\min} \cdot F_r}{g \cdot m_u}, \text{ m} \quad (6)$$

where:

l_{\min} – leg height for the minimum working height of the support, m.

The registered time series of the pressure in the tested leg is the basis to assess the efficiency of the support yield capability. It is assumed that the yield capability requirements are met if the following condition is fulfilled:

$$P_{\max} < P_N \cdot k_N \quad (7)$$

where:

P_{\max} – maximum pressure value registered during the test, t, Pa

P_N – rated pressure of the tested leg, Pa

k_N – coefficient of the leg static overload according to the standard.

Additionally, it is required to maintain the minimum liquid column under the piston $l_{h\min}$ for the whole range of the working height of the support, calculated from the following formula:

$$l_{h\min} \geq 0,15(l_h + l_m), \text{ m} \quad (8)$$

where:

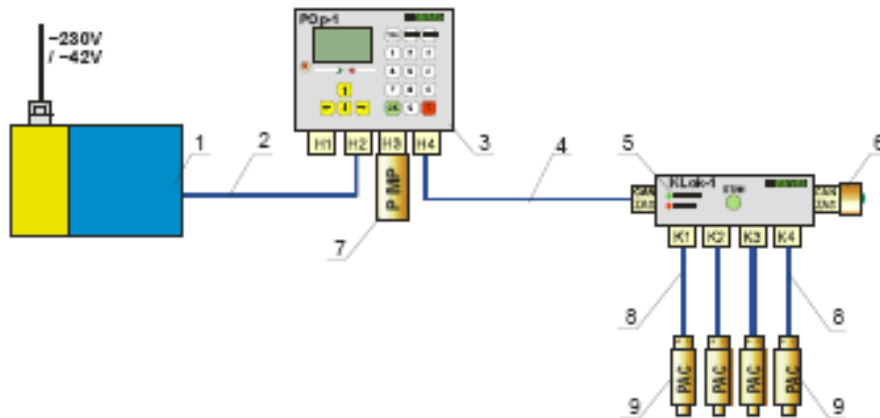
l_h – hydraulic stroke of the leg, m

l_m – mechanical stroke of the leg, m.

This is a very important condition due to the fact that the legs used in the areas with rock bursts have different structures, i.e. different rigidity and different ability to dissipate the impact energy.

3. MEASURING SYSTEM FOR TESTING STATIC AND DYNAMIC LOAD OF THE POWERED ROOF SUPPORT IN A LONGWALL FACE

The “RECS measuring system for static and dynamic pressure registration” [3] was developed in the Research and Development Centre for Electrical Engineering and Automation in Mining EMAG on the basis of technical requirements prepared in the Department of Mechanical Devices Testing at the Central Mining Institute (GIG). The general layout of the system is presented in Fig. 2.



Rys. 2. Zestawienie urządzeń Systemu Rejestracji Ciśnienia Statycznego i Dynamicznego RECS
 Fig. 2 General layout of the RECS system for static and dynamic pressure registration

Podstawowym przeznaczeniem tego systemu jest rejestracja przebiegów czasowych ciśnienia w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej, występujących w trakcie dynamicznego oddziaływania stropu i spągu wyrobiska na obudowę. System zapewnia ponadto ciągle monitorowanie statycznego ciśnienia w stojakach. Informacje o statycznej wartości ciśnienia i szybkości jego narastania są prezentowane na wyświetlaczu Pulpitu Operatorskiego POP-1 oraz archiwizowane w przenośnym module pamięci. Układ umożliwia sygnalizację przekroczenia granicznych wartości szybkości narastania ciśnienia w stojakach i śledzenie czasu osiągnięcia podporności roboczej sekcji w kolejnych cyklach pracy obudowy. W podstawowej konfiguracji systemu RECS stosowany jest jeden Koncentrator Lokalny KLoc-1, do którego przyłączone są dwa przetworniki ciśnienia PAC-1. System RECS umożliwia bieżący pomiar i archiwizację (z częstością zapisu 1 Hz) statycznych przebiegów czasowych ciśnienia oraz rejestrację **stanów niestabilnych ciśnienia w obwodach hydraulicznych**. Lokalna rejestracja dynamiczna, przy częstości próbkowania **od 1 kHz do 5 kHz**, jest uruchamiana automatycznie **na czas odpowiednio od 25 do 5 sekund**. Dane pomiarowe są zapisywane w przenośnym module pamięci PIMP. Po wywiezieniu modułu na powierzchnię mogą być one przesłane do komputera PC poprzez port USB zgodny ze specyfikacją USB 2.0. Dane pomiarowe z systemu RECS mogą być też przesyłane na bieżąco do systemu nadrzędnego, dysponującego interfejsem RS485 zgodnie z protokołem MODBUS RTU.

System posiada strukturę modułową, co umożliwia jego rozbudowę zarówno pod względem liczby sekcji jak i liczby punktów pomiarowych w sekcji, jednak zwiększanie liczby punktów pomiarowych odbywa się kosztem obniżenia wartości parametrów rejestracji dynamicznej.

The basic purpose of the system is to register pressure time series in the powered roof support legs, occurring during the dynamic impact of the roof and the floor of the coal face on the support. Additionally, the system ensures constant monitoring of static pressure in the legs. The static pressure value and the its increase rate are presented on the display of the POP-1 Operator Panel and stored in the memory module. The system makes it possible to signal the exceeded limit values of the load increase rate and to monitor the time in which the support yield force is achieved in the successive support operation cycles. In the basic configuration of the RECS system one KLoc-1 Local Concentrator with two PAC-1 transducers are used. The RECS system enables the on-line measurement and registration (with the recording frequency of 1 Hz) of static pressure time series and the registration of **transient states in hydraulic circuits**. Local dynamic registration, at the sampling frequency **from 1 kHz to 5 kHz**, starts automatically for **the time from 25 to 5 seconds respectively**. The measuring data are saved in the PIMP portable memory module. After the module is taken to the surface, the data can be transferred to a PC computer through a USB 2.0 port. The measuring data from the RECS system can be also transferred on-line to a master system with the use of an RS485 interface, according to the MODBUS RTU protocol.

The system has a modular structure which enables its extension with respect to both the number of supports and the number of measuring points in one support. Still, the increase in the number of measuring points is performed at the cost of lowered values of dynamic registration parameters.



Rys. 3. Koncentrator lokalny
Rys. 3. KLoc-1 Local Concentrator

Wszystkie urządzenia wchodzące w skład systemu pomiarowego są odporne na trudne warunki klimatyczne (wilgoć, zapylenie, wysoka temperatura) i narażenia mechaniczne. W szczególnie trudnych warunkach połączenia pomiędzy urządzeniami mogą być realizowane za pomocą przewodów elektrycznych o zwiększonej odporności na narażenia mechaniczne wyposażonych w hermetyczne szybkozłącza SGH4.

Wszystkie urządzenia systemu są w wykonaniu iskrobezpiecznym i spełniają wymagania Dyrektywy ATEX i Dyrektywy EMC.

System RECS jest przeznaczony do pracy w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych w polach niemetanowych i metanowych, w pomieszczeniach ze stopniem „a”, „b” i „c” niebezpieczeństwa wybuchu zgodnie z właściwościami określonymi cechą budowy przeciwwybuchowej $Ex\ i_b\ I$.

W skład systemu RECS wchodzi (oznaczenia wg rys. 2):

- Koncentrator Lokalny (5),
- iskrobezpieczne przetworniki ciśnienia (9),
- przewody wzmacnione (8),
- Pulpit Operatorski (3),
- Przenośny Moduł Pamięci PIMP (7),
- przewód magistralny P4-SGH/SGH lub P4W-SGH/SGH (4)
- przewód magistralny P4-SGH/- (2),
- zasilacz iskrobezpieczny (1),
- terminator magistrali (6).

Koncentrator Lokalny jest połączony z Pulpitem Operatorskim POp-1 za pomocą czterożyłowego przewodu magistralnego (zasilanie 12 V i magistrala CAN). System zasilany jest z zasilacza iskrobezpiecznego, przyłączonego do pulpitu POp-1.

Koncentrator Lokalny KLoc-1, przedstawiony na rys. 3, jest uniwersalnym czterokanałowym urządzeniem pomiarowo-sterującym przeznaczonym do stosowania w rozproszonych systemach sterowania i monitorowania pracy maszyn i urządzeń pracujących w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych.

All devices which are the components of the measuring system are resistant to harsh climatic conditions (moisture, coal dust, high temperature) and mechanical hazards. In especially difficult conditions, the connections between the devices can be made with the use of shielded reinforced cables equipped with SGH4 hermetic staplelock connectors.

All devices included in the system are intrinsically safe and meet the requirements of the ATEX and EMC directives.

The RECS system is intended to be used in the underground workings of mining plants, in non-methane and methane fields, in the areas with the “a”, “b” or “c” degree of explosion hazards, according to the characteristics stipulated by the $Ex\ i_b\ I$ anti-explosion protection mark.

The RECS system comprises the following (marks according to Fig. 2)

- KLoc-1 Local Concentrator (5),
- PAC-1 Intrinsically Safe Pressure Transducers (9) up to 4 pieces,
- P4W-SGH/SGH reinforced cables (8),
- POp-1 Operator Panel (3),
- PIMP Portable Memory Module (7),
- P4-SGH/SGH or P4W-SGH/SGH bus cable (4),
- P4-SGH/- bus cable (2),
- intrinsically safe power supply (1),
- CAN bus terminator (6).

The Local Concentrator is connected with the POp-1 Operator Panel by means of a four-wire bus cable (12 V power supply and CAN bus). The system is supplied from the intrinsically safe power supply connected to the POp-1 panel.

The KLoc-1 Local Concentrator (Fig. 3) is a universal four-channel control and measuring device for use in distributed control and monitoring systems of machines and devices operating in the underground workings of mining plants.



Rys. 4. Iskrobezpieczny Przetwornik Ciśnienia PAC-1
Fig. 4 PAC-1 intrinsically safe pressure transducer

Obudowa koncentratora lokalnego jest wykonana ze stali nierdzewnej ze stopniem ochrony IP66. Nie wielkie gabaryty koncentratora (240×122×62 mm) pozwalają na jego montaż w miejscu gdzie narażenia mechaniczne są stosunkowo ograniczone.

Na płycie czołowej koncentratora zabudowane są trzy diody LED. Dioda STAN do sygnalizacji stanu procesu i diody ZASILANIE oraz AWARIA informujące o warunkach zasilania i ewentualnych stanach awaryjnych (błąd systemu, brak łączności, uszkodzenie przetwornika).

Tryb pracy poszczególnych kanałów jest programowany zgodnie z algorytmem określonym przez użytkownika. Wyniki pomiarów są przesyłane na bieżąco do jednostki nadrzędnej (Pulpitu Operatorskiego lub modułu pamięci) z możliwością buforowania danych w wewnętrznej pamięci koncentratora.

Koncentrator KLok-1 jest wyposażony w dwa gniazda magistralne (CAN ZASILANIE) przeznaczone do zasilania urządzenia i komunikacji z jednostką centralną i pozostałymi urządzeniami systemu. W układzie zastosowano standardową magistralę CAN zapewniającą dużą przepustowość łączy przy jednoczesnej wysokiej odporności na zakłócenia.

Do pomiaru ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaków zastosowany jest cyfrowy przetwornik ciśnienia PAC-1 (rys. 4) przeznaczony do stosowania w rozproszonych systemach sterowania i monitorowania maszyn pracujących w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych w polach niemetanowych i metanowych, zgodnie z właściwościami określonymi cechą budowy przeciwwybuchowej Ex ia.

Elementem pomiarowym przetwornika jest membrana silikonowa z piezorezystancyjnym mostkiem tensometrycznym. Sygnał wyjściowy z mostka poddany zostaje kwantyzacji, a następnie cyfrowemu przetwarzaniu w mikrokontrolerze. Układ mikrokontrolera nadzoruje pobieranie, linearyzację, kompensację temperaturową oraz filtrację cyfrową sygnału pomiarowego przetwornika. Przetwornik PAC-1

The casing of the local concentrator is made of stainless steel with IP66 protection degree. Small size of the concentrator (240×122×62 mm) allows to install it in places with relatively limited exposition to mechanical hazards.

The front panel of the concentrator is equipped with three LED diodes. The STAN diode providing information about the state of the process and the ZASILANIE and AWARIA diodes for the signalization of missing power supply and error states (system error, no connection, broken transducer).

The operation mode of particular channels is programmed according to the user algorithm. The measurement results are sent on-line to the master unit (Operator Panel or memory module) with the possibility to buffer the data in the internal memory of the concentrator.

The KLok-1 concentrator is equipped with two system bus sockets (CAN ZASILANIE), for power supply and communication with the central unit and other devices of the system. The system uses a standard CAN bus ensuring reliable data transmission with high transfer rates and high levels of electrical noise immunity.

The PAC-1 intrinsically safe digital pressure transducer is used to measure pressure in the support legs. The PAC-1 transducer has been developed especially for use in the distributed control and monitoring systems for machines operating in the underground workings, in non-methane and methane fields, in accordance with the characteristics of the anti-explosion structure Ex ia.

The key element of PAC-1 is a piezoresistive sensor bridge implemented on the silicon membrane. The bridge output signal is quantized and then digitally processed in the micro-controller. The micro-controller supervises the data acquisition, linearization, temperature compensation and digital filtering of the measuring signal. The PAC-1 transducer can be equipped with a digital communication interface



Rys. 5 Pulpit Operatorski POP-1
Fig. 5 POP-1 Operator Panel

może być wyposażony w cyfrowy interfejs komunikacyjny (CAN albo RS-485) lub analogowe wyjście prądowe. W systemie RECS stosowany jest przetwornik PAC-1 z wyjściem niskoprądowym (0,2÷1,0 mA) o zakresie pomiarowym **100 MPa (przebieżność 1,2)** wyposażony w Szybkozłącze Górnicze Hermetyczne typu SGH-4 służące do podłączenia zasilania i wyjścia pomiarowego przetwornika. Przetwornik PAC-1 posiada przyłącze procesowe systemu Stecko wielkości 8/10.

Pulpit Operatorski (rys. 5) **pełni funkcję jednostki centralnej systemu RECS** nadzorującej działanie Koncentratora Lokalnego KLoc-1 i modułu pamięci PIMP. Za pomocą Pulpitu Operatorskiego osoby uprawnione mogą zmieniać wartość parametrów definiujących kryteria aktywacji rejestracji dynamicznej oraz sposób wizualizacji i archiwizacji danych pomiarowych.

Informacje o bieżącym ciśnieniu w stojakach i szybkości narastania podporności są prezentowane na wyświetlaczu graficznym. Dodatkowo dostępna jest informacja o liczbie zarejestrowanych dynamicznych przebiegów ciśnienia i aktualnym wykorzystaniu pamięci. Obsługę pulpitu POP-1 umożliwia zlokalizowana na płycie czołowej dziewiętnasto-przyciskowa klawiatura i wyświetlacz graficzny o rozdzielczości 128×64 punkty. Pulpit POP-1 jest wyposażony w cztery gniazda złącz SGH-4. Kierujący pracą urządzenia mikrokontroler sprawdza działanie obwodów wewnętrznych oraz urządzeń współpracujących (interfejsy, napięcie zasilania). Wykrycie błędu w układzie mikrokontrolera (np. błędna suma kontrolna pamięci) sygnalizowane jest świeceniem diody AWARIA lub jej miganiem, w zależności od typu błędu.

(CAN and RS485 are available) or analog current output.. The PAC-1 transducer used in the RECS system is the version with a low-voltage output (0.2÷1.0 mA) and the measuring range of 100 MPa (overload capacity 1.2). PAC-1 is equipped with the electrical SGH-4 Hermetic Mining Staplelock Connector used to connect power supply and the output signal of the transducer. The PAC-1 transducer is fitted with an 8/10 Stecko process connector.

The Operator Panel (Fig. 5), **the central unit of the RECS system**, supervises the operation of the KLoc-1 Local Concentrator and the PIMP memory module. The Operator Panel enables the authorized personnel to change the values of parameters which define the dynamic registration activation criteria, as well as the visualization mode and storage of the measuring data.

Information about current pressure in the legs and about the load increase rate is presented on the graphic display. Additionally, the information about the number of registered dynamic pressure time series and the current memory use is available. The microcontroller, which controls the operation of the device, checks the operation of internal circuits and external devices (interfaces, power supply conditions). Detecting an error in the micro-controller system (e.g. wrong memory checksum) is signalled by a lit or blinking diode, depending on the type of the error. The operation of POP-1 is enabled by a 19-button keypad and 128×64-resolution graphic display, both located on the front panel. The POP-1 panel is equipped with four sockets of SGH-4 connectors.



Rys. 6. Przenośny Iskrobezpieczny Moduł Pamięci PIMP-1
Fig. 6 PIMP-1 Portable Intrinsically Safe Memory Module

Moduł pamięci PIMP-1 (rys. 6) przeznaczony jest do gromadzenia i przenoszenia danych z układu sterowania lub monitorowania pracy maszyny dołowej do urządzenia powierzchniowego, wyposażonego w port USB. Dane te zorganizowane są w postaci plików i mogą posłużyć do analizy i wizualizacji w formie tabel, wykresów itp. Moduł pamięci może służyć jako zewnętrzna pamięć systemu nadrzędnego, wykorzystywana do archiwizacji danych pomiarowych, zdalnej parametryzacji algorytmów i aktualizacji oprogramowania urządzeń wchodzących w skład systemu.

Urządzenie przeznaczone jest do montażu w strefie chronionej przed narażeniami mechanicznymi i stosowania w strefie zagrożonej wybuchem pyłu i/lub mieszanki metanowo-powietrznej.

Moduł pamięci jest wyposażony we wtyk szybkozłącza górniczego SGH-4 służący do połączenia z obiektem oraz gniazdo USB umożliwiające podłączenie do portu USB komputera za pomocą dostarczonego wraz z urządzeniem przewodu MP-1.

4. ZASADA DZIAŁANIA SYSTEMU RECS

Sygnał pomiarowy z przetworników ciśnienia jest próbkowany z częstotliwością od 1 kHz do 5 kHz. Wyniki są zapamiętywane na bieżąco w wewnętrznej, nie ulotnej pamięci Koncentratora Lokalnego. Pamięć ta zorganizowana jako bufor cykliczny pełni funkcję „czarnej skrzynki” zawierającej dane pomiarowe zarejestrowane w ciągu ostatnich kilku sekund. Na podstawie prowadzonej na bieżąco analizy poziomu i dynamiki sygnału pomiarowego podejmowana jest decyzja o archiwizacji przebiegu dynamicznego. Zapis danych do pamięci buforowej jest kontynuowany aż do całkowitego zapelnienia bufora, po czym dane pomiarowe z pamięci lokalnej zostają przesłane do modułu pamięci. Częstotliwość próbkowania i kryteria archiwizacji przebiegów dynamicznych są programowane za pomocą parametrów, których wartość może być modyfikowana przez użytkownika systemu.

The PIMP-1 memory module (Fig. 6) is used to store and transfer data from the mining machine control or monitoring system to a surface device equipped with a USB port. The data stored in files can be used for analysis and visualization purposes, in the form of tables, diagrams, etc. The memory module can be used as an external memory for data storage, algorithms parameterization and system components software updating (program bootloading).

The device is intended for installation in the areas protected against mechanical hazards. It can be used in the areas with coal dust explosion hazards and/or methane-air explosion hazards.

The device is plugged into the underground system with the use of an SGH-4 mining staplelock connector. It is also equipped with a USB socket to connect the module to the USB port of the computer by means of the MP-1 cable supplied with the device.

4. OPERATING PRINCIPLE OF THE RECS SYSTEM

The measuring signal from pressure transducers is sampled with the frequency from 1 kHz to 5 kHz. The results are registered in the internal, nonvolatile memory of the Local Concentrator. The memory organized as an endless buffer function is a kind of a “black box” containing measurement data registered during the last few seconds of system operation. Based on the on-line analysis of the level and dynamics of the measurement signal, the decision is made to store the current pressure time series in the PIMP module. The process of data registration in the local memory is continued until the buffer is full. Then the time series registered in the endless buffer are transmitted to the external memory module. The sampling frequency and the criteria of dynamic pressure time series storage are determined by means of parameters whose values can be modified by the user.

W standardowej konfiguracji systemu RECS rejestracja dynamiczna prowadzona jest jedynie dla dwóch przetworników. Dostępna pamięć buforowa pozwala na zapisanie 26 000 pomiarów dla każdego z dwóch czujników, co daje możliwość zarejestrowania przebiegów czasowych o długości od 5,2 s do 12 s przy częstotliwości zapisu danych wynoszącej odpowiednio od 5 kHz do 1 kHz. Po zapelnieniu bufora rozpoczyna się przesłanie danych pomiarowych z koncentratora KLoc-1 do modułu pamięci PIMP. W tym czasie bufor pozostaje zamknięty i nowe dane z czujników ciśnienia są ignorowane. „Czas martwy” trwa do momentu uzyskania potwierdzenia, że dane zostały poprawnie przesłane. Przy pomiarze ciśnienia w dwóch stojakach, przy prędkości transmisji 500 kbit/s, czas transmisji danych nie przekracza 10 sekund.

5. PODSUMOWANIE

Przewiduje się, że dzięki danym pomiarowym zebranym w przyszłości w różnych wyrobiskach ścianowych możliwe będzie:

- zbudowanie bazy wiedzy o rzeczywistych wartościach obciążeń dynamicznych sekcji obudowy zmechanizowanej oraz wywołujących je energiach sejsmicznych,
- zweryfikowanie wartości współczynników bezpieczeństwa, dla sekcji obudowy oraz stojaków hydraulicznych, określonych w normach i innych dokumentach,
- ocenienie skuteczności działania zaworów bezpieczeństwa jako elementów upodatniających sekcje obudowy,
- podjęcie próby zbudowania zaawansowanego systemu, służącego do prognozowania możliwości wystąpienia wstrząsu w wyrobisku ścianowym.

Literatura

1. *Biliński A.*: Metoda doboru obudowy ścianowych wyrobisk wybierkowych i chodnikowych do warunków pola eksploatacyjnego. Prace naukowe – Monografie CMG KOMAG. Gliwice 2005.
2. *Biliński A., Kostyk T., Prusek S.*: Zasada doboru obudowy zmechanizowanej dla wyrobisk ścianowych. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrony Środowiska w Górnictwie, WUG nr 3/97.
3. Dokumentacja systemu pomiarowego do statycznej i dynamicznej rejestracji ciśnienia RECS – Centrum Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG. Katowice 2008. Niepublikowana.
4. *Dubiński J., Konopko W.*: Tapania. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 2000.
5. Normy serii PN-EN-1804: Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej.
6. *Stoiński K.*: Obudowy górnictwa w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 2000.
7. *Stoiński K., Kostyk T.*: Wybór konstrukcji parametrów technicznych zmechanizowanej obudowy ścianowej dla wyrobisk zagrożonych wstrząsami górotworu. Prace Naukowe GIG, seria Konferencje, 50/2005.

Due to limited capacity of the buffer memory of the local concentrator in the standard configuration of the RECS system, dynamic registration is carried out for two transducers only. The accessible buffer memory allows to save 26 000 measurements for each sensor, which enables to register time series from 5.2 s to 12 s, with the data saving frequency from 5 kHz to 1 kHz respectively. After the buffer is full, the measuring data start to be sent from the KLoc-1 concentrator to the PIMP memory module. At that time the buffer is closed and any new data coming from pressure sensors are ignored. The “dead time” lasts until there comes confirmation that the data were transferred successfully. While measuring pressure in two legs, the data transmission time is below 10 seconds, with the transmission speed of 500 kbit/s.

5. CONCLUSIONS

It is expected that thanks to the measuring data which are to be collected in different longwall faces it will be possible to:

- develop a knowledge base on real values of dynamic load of the powered roof support and about seismic energy which causes the load,
- verify the values of safety coefficients for powered roof supports and hydraulic legs, stipulated by standards and other documents,
- assess the efficiency of safety valves as elements ensuring the yield capability of powered roof supports,
- try to develop an advanced system for predicting rock bursts in a longwall face.

References

1. *Biliński A.*: Method of adjusting the supports of face- and heading excavations to the conditions of the mining field. Prace naukowe – Monografie CMG KOMAG. Gliwice 2005.
2. *Biliński A., Kostyk T., Prusek S.*: Principles of selecting a powered roof support for longwall faces. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrony Środowiska w Górnictwie, WUG nr 3/97.
3. Documentation of the RECS system for sustained and dynamic pressure registration – Centrum Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG. Katowice 2008. Not published.
4. *Dubiński J., Konopko W.*: Rock bursts. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 2000.
5. PN-EN-1804 standards: Machines for underground mining. Safety requirements for hydraulic powered roof supports.
6. *Stoiński K.*: Mining supports in the conditions of rock-burst hazards. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 2000.
7. *Stoiński K., Kostyk T.*: Selecting technical parameters of a powered roof support for excavations with rock-burst hazards. Prace Naukowe GIG, „Konferencje” series, 50/2005.
8. *Stoiński K., Pytlík A.*: Metody oceny upodatnienia sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej. XIII Międzynarodowa Konferencja

- Naukowo-Techniczna. Gómicze Zagrozenia Naturalne 2006. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 2006.
9. *Szuścik W.*: Dobór obudowy zmechanizowanej do warunków zagrożenia tapaniami. Międzynarodowe sympozjum naukowo-techniczne „Tapania 2002”. Stan badań i profilaktyki. Katowice 2002.
 10. *Szweda S.*: Identyfikacja parametrów charakteryzujących obciążenie sekcji obudowy zmechanizowanej spowodowane dynamicznym oddziaływaniem górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo, vol. 259. Gliwice 2004.
 8. *Stoiński K., Pytlík A.*: Methods to assess the yield capability of a powered roof support. International Scientific and Technical Conference: Natura Hazards. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 2006.
 8. *Szuścik W.*: Adjusting a powered roof support to the conditions of rock bursts. International scientific and technical symposium „Rock bursts 2002”. State of the art and prevention. Katowice 2002.
 9. *Szweda S.*: Identification of parameters characterizing the load of the powered roof support caused by dynamic impact of the rock mass. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo, vol. 259. Gliwice 2004.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Antoni Kalukiewicz

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СТОЙКАХ СЕКЦИЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ

В статье представлена методика измерений динамических нагрузок секции механизированной крепи, вызванных сотрясениями горной породы и описана измерительно-регистрающая система, благодаря которой возможны продолжительные исследования нагрузки секции крепи в горной выработке. Разработанная в Центре ЭМАГ Система регистрации статического и динамического давления RECS дает возможность архивизации хода давления, зарегистрированного в течении динамического воздействия горной породы на секции крепи с частотой 5 кН и статического временного хода с частотой 1 Нз. Измерительные данные архивируются локально в переносном модуле памяти. Все устройства системы характеризуются высокой устойчивостью на механические повреждения и приспособлены к продолжительной работе в условиях сильной запыленности и большой влажности, характеристических для очистного забоя.