

Andrzej LEBIEDZKI

Józef PARCHAŃSKI

REJESTRACJA MOMENTU SKRĘCAJĄCEGO, PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ I MOCY KOMBAJNU ŚCIANOWEGO

Streszczenie. Artykuł dotyczy metrologicznej analizy metod pomiarów i rejestracji chwilowych wartości momentu skręcającego prędkości obrotowej i mocy mechanicznej, przenoszonych (podczas badań laboratoryjnych) przez główny wał górniczego kombajnu ścianowego. Program badań przewiduje symulację stanów zbliżonych do obciążeń występujących w rzeczywistych warunkach górniczych tj. nagłych obciążeń urządzenia skrawającego, występujących podczas urabiania węgla kombajnem.

Do pomiarów momentu skręcającego zastosowano metodę tensometryczną. Z uwagi na małą prędkość obrotową wału kombajnu zastosowano łącze ślizgowe (pierścień-szczotka) do zasilania wirującego mostka tensometrycznego i wzmacniacza pomiarowego oraz do przekazywania wzmocnionego napięcia pomiarowego z mostka do przyrządu momentomierza.

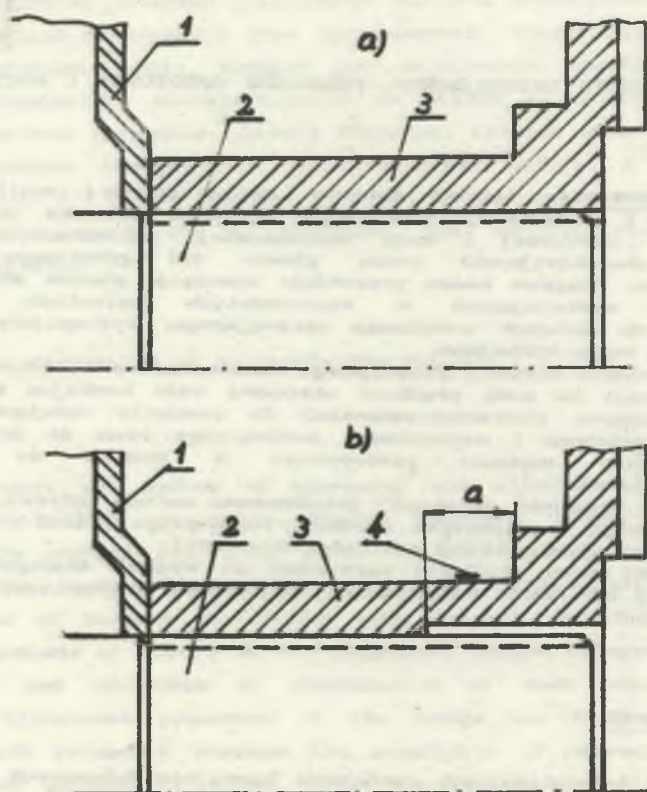
Pomiar prędkości obrotowej zrealizowano metodą cyfrową, za pomocą miniaturowego przetwornika obrotowo-impulsowego MPL-10/s i cyfrowej lub analogowej rejestracji prędkości obrotowej.

Wartość mocy chwilowej otrzymano na wyjściu analogowego układu mnożącego lub układu komputerowej rejestracji i przetwarzania danych pomiarowych.

1. Wprowadzenie

W badaniach laboratoryjnych górniczych kombajnów ścianowych pracujących w zmiennych warunkach obciążenia, istotna jest rejestracja chwilowych wartości momentu skręcającego, prędkości obrotowej oraz chwilowej wartości mocy na głównym wale kombajnu. Program badań kombajnów przewiduje symulację pracy w warunkach zbliżonych do tych, jakie istnieją podczas urabiania węgla. Badania uwzględniają gwałtowne zmiany obciążenia kombajnu spowodowane nagłym zatrzymaniem urządzenia skrawającego, przez np. przypadkowe zaczepienie o stalową konstrukcję obudowy chodnika, zaczepienie o warstwę kamienia zalegającego w urabianej ścianie. Gwałtowne zmiany obciążenia urządzenia skrawającego są przyczyną uszkodzeń napędu kombajnu.

Potrzeba tego typu badań zaistniała na już eksploatowanym stanowisku laboratoryjnym, w którym wcześniej takich pomiarów nie przewidywano. Ze względu na wymagane szerokie pasmo częstotliwości rejestrowanego momentu, po analizie właściwości metrologicznych różnych typów przetworników [1,2, 4], zastosowano układ przetwornika tensometrycznego.



Rys.1. Fragment układu mechanicznego połączenia głównego wału kombajnu z połową sprzęgła; a) przed podtoczeniem, b) po podtoczeniu na odcinku a
1 - obudowa przekładni, 2 - wał główny, 3 - tuleja sprzęgła, 4 - tensometry

Fig.2. A fragment of mechanical system of a combined cutter loader main shaft connection with the half coupling; a) before neck, b) after neck on segment a

1 - gear casing, 2 - main shaft, 3 - sleeve coupling, 4 - strain gauges

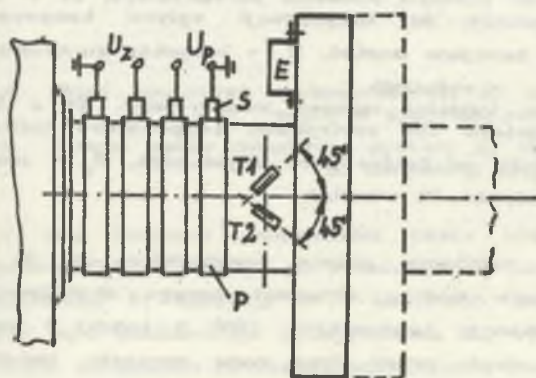
Z uwagi na zwartą konstrukcję głowicy kombajnu (dostępny krótki wał 2 (rys.1a) stanowiący wieloklin do połączenia ze sprzęgłem), nie było miejsca nie tylko na zainstalowanie momentomierza o dużym zakresie pomiarowym (100 kNm), ale nie było miejsca nawet na naklejenie tensometrów. Dokładna analiza układu mechanicznego tego stanowiska wykazała, że jedynym miejscem, w którym istnieje możliwość pomiaru momentu skręcającego jest tuleja 3 na nie demontowanej (przy instalowaniu badanego kombajnu) połowie sprzęgła mechanicznego, łączącego kombajn badany i kombajn obciążający. Tuleję pomiarową uzyskano przez usunięcie części ząbienia wieloklinu na odcinku $a = 60$ mm (rys.1b). Celem zwiększenia czułości momentomierza, po obliczeniu wytrzymałości na skręcanie tulei 3 przy maksymalnej projektowanej wartości momentu skręcającego (100 kNm), tak podtoczono wewnętrzną średnicę tulei 3, aby względne wydłużenie tensometrów 4 naklejonych na pomiarowym odcinku a wynosiło ok. $1 \text{ } \text{‰}$.

Dalszym utrudnieniem są duże drgania całego układu mechanicznego podczas badań kombajnu, a zwłaszcza duży uder w momencie załączenia kombajnu do sieci energetycznej. Badania są przeprowadzane przy rewersyjnej wartości zarówno momentu skręcającego, jak i prędkości obrotowej.

2. Metoda pomiarowa

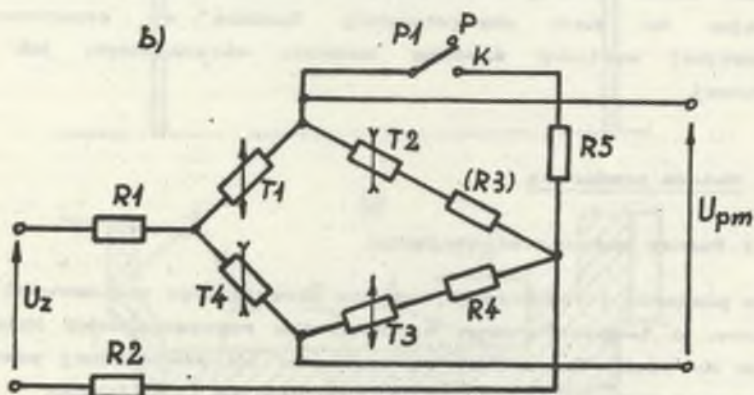
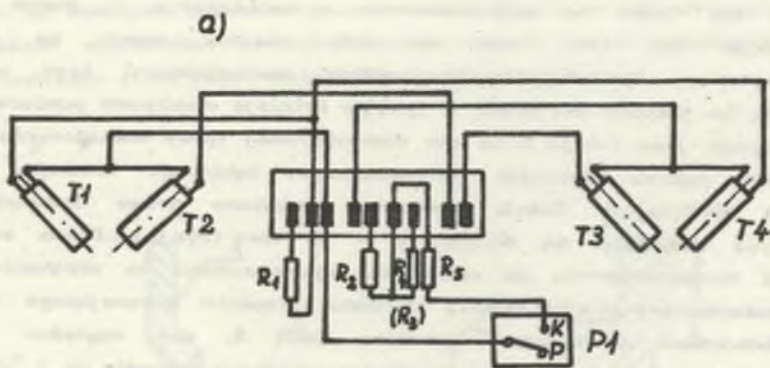
2.1. Pomiar momentu skręcającego

Do pomiarów i rejestracji momentu skręcającego zastosowano 4 tensometry drutowe, o temperaturowym współczynniku rozszerzalności liniowej dostosowanym do stali. Tensometry są naklejone na zewnętrznej powierzchni tulei pomiarowej sprzęgła pod kątem 45° względem osi tulei (rys.2).



Rys.2. Rozmieszczenie tensometrów i łączy ślizgowych na powierzchni tulei połowy sprzęgła. E - część wirująca układu elektronicznego, P - pierścień ślizgowy, S - szczotka węglowa, T1, T2 - tensometry.

Fig.2. Placement of strain gauges and contact slippers on the surface of half coupling sleeve. E - vibrating part of an electronic system, P - slip ring, S - coal brush, T1, T2 - strain gauges

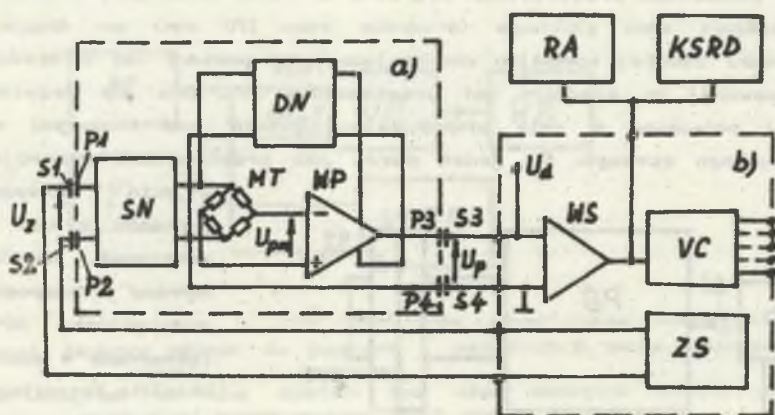


Rys.3. Mostek tensometryczny do pomiaru momentu skręcającego. T1 + T4 - tensometry, R₁, R₂ - rezystory do kompensacji wpływu temperatury otoczenia, R₃, R₄ - rezystory zerujące mostek, R₅ - rezystor kontrolny, P1 - wyłącznik

Fig.3. Strain gauge bridge for twisting moment measurement. T1 + T4 - strain gauges, R₁, R₂ - resistors for environment temperature influence compensation, R₃, R₄ - resistors of bridge zero adjustment, R₅ - control resistor, P1 - switch

Do pomiarów dynamicznych o założonym paśmie przenoszenia do 10 kHz, najkorzystniejsze jest zasilanie mostka tensometrycznego stabilizowanym napięciem stałym. Duża rezystancja tensometrów (600 Ω każdy) i bardzo dobre warunki odprowadzania ciepła przez dużą masę sprzęgła, umożliwiły zasilanie mostka tensometrycznego napięciem o wartości 30 V.

Ze względu na małe obroty (do 40 obr./min) i duże drgania głównego wału kombajnu oraz uniknięcie stosowania akumulatorów do zasilania wirującego układu elektronicznego, zastosowano 4 niskoomowe łącza ślizgowe (pierścień-szczotka) - rys.3. Celem zminimalizowania wpływu zakłóceń na sygnał pomiarowy U_{pm} ekranowanego mostka tensometrycznego (rys.3b), na części wirującej w pobliżu mostka, umieszczono stabilny wzmacniacz pomiarowy WP (rys.4) o wzmocnieniu napięciowym równym 500. W ten sposób uzyskano zmianę napięcia pomiarowego U_p podawanego na łącza ślizgowe o wartościach od 3 V do 27 V w zależności od wartości i kierunku działania momentu skrecającego. Zerowej wartości momentu skrecającego odpowiada +15 V, t.j. połowa napięcia U_x zasilającego mostek tensometryczny MT. Sygnał pomiarowy U_p z łącza ślizgowego P_3, S_3, P_4, S_4 jest podany na wejście odwracające wzmacniacza sumującego WS umieszczonego w przyrządzie pomiarowym. Na to samo wejście podane jest ujemne napięcie odniesienia U_d o wartości (-15) V. W ten sposób na wyjściu wzmacniacza sumującego otrzymano 0 V, przy zerowym momencie skrecającym. Do zerowania całego toru pomiarowego zastosowano we wzmacniaczu sumującym WS w obwodzie napięcia odniesienia oddzielny potencjometr.



Rys.4. Układ pomiarowy momentomierza; a) część wirująca układu pomiarowego, b) przyrząd pomiarowy

Fig.4. Torque meter measuring system; a) vibrating part of torque meter, b) measuring device

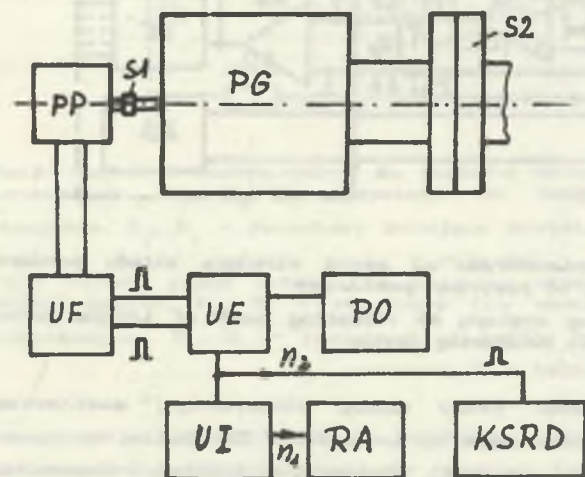
W celu kontroli poprawności pracy układu pomiarowego, zastosowano rezystor R_5 (rys.3) włączony równolegle do tensometru T_2 mostka, za pomocą przełącznika P_1 (pozycja K - kontrola). Ewentualną korekcję wzmocnienia całego toru pomiarowego przeprowadza się tylko za pomocą potencjometru w obwodzie sprzężenia zwrotnego wzmacniacza sumującego WS.

Na wyjściu wzmacniacza WS włączony jest woltomierz cyfrowy V-62k (rys.4b) o wykorzystywanym zakresie pomiarowym $\pm 1,000$ V, co odpowiada $\pm 100,0$ kNm. Istnieje możliwość wykorzystania cyfrowego wyjścia CW w kodzie BCD przetwornika a/c tego woltomierza, wyprowadzonego na tylną płytę przyrządu. Jednak do rejestracji szybkozmiennych przebiegów momentu skrecającego (w paśmie do 10 kHz) należy korzystać z analogowego wyjścia AW momentomierza (± 1 V, 1 mA). Na to wyjście można włączyć bezpośrednio rejestrator analogowy RA lub poprzez szybki przetwornik a/c włączyć komputerowy system rejestracji i opracowania wyników pomiarów (KSRD).

2.2. Pomiar prędkości obrotowej

Po przeanalizowaniu metrologicznych właściwości przetworników [1, 3, 5]: indukcyjnego, indukcyjnościowego, pojemnościowego i fotoelektrycznego, do pomiarów prędkości obrotowej w zakresie do 40 obr./min, zastosowano miniaturowy, obrotowo-impulsowy przetwornik fotoelektryczny typu MPL-10/s, produkcji PZO w Warszawie.

Do połączenia przetwornika MPL-10/s z wałem kombajnu, zostało wykonane przedłużenie wału głównego (średnica wału 170 mm) po drugiej stronie przekładni zębatej kombajnu obciążającego, w postaci osi o średnicy 5 mm, dostosowanej do średnicy osi przetwornika MPL-10/s. Oś przetwornika PP (rys.5) połączono z osią przedłużającą główny wał kombajnu za pomocą elastycznego sprzęgła S.



Rys.5. Schemat blokowy obrotomierza

Fig.5. Block diagram of a torque meter

wyjściu dokładnie 1000 impulsów z obu torów pomiarowych. Impulsy otrzymywane bezpośrednio z przetwornika MPL-10/s są formowane w elektronicznym układzie formującym UF.

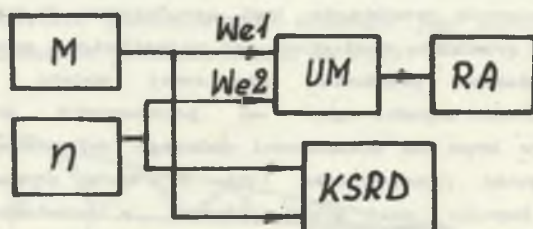
W rozbudowanym układzie elektronicznym UE wykorzystuje się zbrocza narastające i opadające oraz kolejność występowania impulsów w obu torach, do określania kierunku wirowania i podwojenia liczby zliczanych impulsów (2000 na jeden obrót). Układ ten eliminuje również błędne zliczanie impulsów spowodowane

wane dużymi drganiami wału głównego. Wartości i kierunek prędkości obrotowej osi przetwornika (wału kombajnu) są wyświetlone z częstotliwością 2 Hz na cyfrowym panelu odczytowym PO typu GPO-3515-1.

Do rejestracji chwilowych zmian wartości prędkości obrotowej, przewidziano możliwość pomiaru czasu trwania pojedynczego impulsu. Czas ten jest odwrotnie proporcjonalny do prędkości obrotowej. Częstotliwość powtarzania tych pomiarów wynika z programu zastosowanego komputerowego systemu rejestracji danych KSRD (rys.5).

2.3. Pomiar mocy mechanicznej

Przedstawione układy pomiarów chwilowych wartości momentu skręcającego i prędkości obrotowej, umożliwiają pomiary chwilowej wartości mocy mechanicznej głównego wału kombajnu, będącej iloczynem tych wartości. Do analogowej rejestracji mocy, na jedno wejście elektronicznego układu mnożącego UM (rys.6) podawany jest sygnał proporcjonalny do chwilowej wartości momentu skręcającego M.



Rys.6. Schemat blokowy układu do pomiaru i rejestracji mocy mechanicznej kombajnu

Fig.6. Block diagram of the system for the combined cutter loader mechanical power measurement and recording

Na drugie wejście UM podawany jest sygnał analogowy proporcjonalny do chwilowej wartości prędkości obrotowej wału n, uzyskiwany z przetwornika impulsowo-analogowego złożonego z uniwibratora i układu usредniającego UI (rys.5).

W komputerowym systemie zbierania danych, chwilowe wartości momentu skręcającego M (rys.6) i chwilowe wartości prędkości obrotowej n są mnożone programowo (KSRD). Mogą być rejestrowane cyfrowo lub poprzez przetwornik c/a podawane na rejestrator analogowy.

3. Analiza dokładności pomiarów

Dokładność pomiarów momentu skręcającego zależy od stabilności napięcia zasilającego mostek tensometryczny, od stałości wzmacnienia wzmacniaczy pomiarowego i sumującego oraz od dokładności przetwornika a/c i dalszego cyfrowego toru przetwarzania. Długoczasowa niestabilność napięcia wyjściowego zasilacza stabilizowanego nie przekracza $\pm 0,2\%$. Sumaryczna niestabilność długoczasowa współczynnika wzmacnienia obu wzmacniaczy nie przekracza $\pm 0,5\%$. Niedokładność pomiarów zastosowanego woltomierza cyfrowego V-628 nie przekracza $\pm 0,1\%$ wartości mierzonej. Wypadkowa niedokładność pomiarów momentu skręcającego odczytywana na woltomierzu cyfrowym nie przekracza $\pm 1\%$ wartości nominalnej.

W torze rejestracji chwilowych wartości momentu skręcającego największą dokładność można uzyskać przy wykorzystaniu rejestratora cyfrowego. Wypadkowa niedokładność rejestracji przy zastosowaniu 8 bitowego cyfrowego przetwornika kompensacyjnego nie przekracza $\pm 1\%$ wartości nominalnej. Przy zastosowaniu analogowego rejestratora na wyjściu momentomierza, wypadkowa niedokładność zależy przede wszystkim od niedokładności zastosowanego rejestratora i nie powinna przekraczać $\pm 3\%$. Częstotliwość poprawnie rejestrowanych przebiegów jest ograniczona do kilkunastu herców przez częstotliwość graniczną zastosowanego rejestratora analogowego.

Dokładność pomiarów prędkości obrotowej zależy od dokładności przetwornika obrotowo-impulsowego, od poprawności działania układu formowania impulsów oraz od dokładności dalszego cyfrowego toru zliczania impulsów. Niedokładność przetwornika typu MPL-10/s wynosi ± 1 impuls. Układ formujący impulsy nie wnosi błędów, a niedokładność dalszego cyfrowego toru pomiaru prędkości obrotowej nie przekracza $\pm 0,1$ obr/min. Wypadkowa niedokładność prędkości obrotowej nie przekracza $\pm 0,5\%$ prędkości nominalnej 40 obr/min.

Niedokładność przetwornika impulsowo-analogowego UI (rys.5), zastosowanego w analogowym torze rejestracji prędkości obrotowej, nie przekracza $\pm 1\%$. Wypadkowa niedokładność rejestracji prędkości obrotowej, zależy przede wszystkim od niedokładności zastosowanego rejestratora analogowego i nie powinna przekraczać $\pm 3\%$.

Analiza niedokładności komputerowego systemu zapisu chwilowych wartości prędkości obrotowej, przetwarzania danych i rejestracji wyników, przekracza ramy tego artykułu.

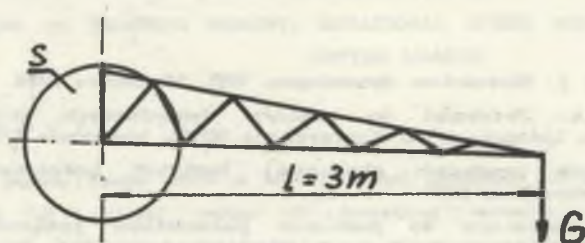
Niedokładność pomiarów mocy mechanicznej jest określona niedokładnością pomiarów momentu skręcającego i prędkości obrotowej oraz niedokładnością zastosowanego układu mnożącego. Przy zastosowaniu elektronicznego układu mnożącego o niedokładności $\pm 1\%$, wypadkowa niedokładność analogowej rejestracji mocy chwilowej nie powinna przekraczać $\pm 3\%$.

Większą dokładność rejestracji mocy chwilowej można uzyskać w komputerowym systemie przetwarzania wyników pomiarów momentu skręcającego i prędkości obrotowej.

4. Badania laboratoryjne i wzorcowanie przyrządu

Badania laboratoryjne wykonanego momentomierza i obrotomierza zostały przeprowadzone na stanowisku badawczym w hali maszyn CMG KOMAG w Gliwicach. Przyrząd działa poprawnie w warunkach zakłóceń elektromechanicznych, spowodowanych załączaniem innych dużych odbiorników energii elektrycznej, znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie stanowiska badawczego. Badania przeprowadzono przy 12 metrowej długości nieekranowanych kabli, łączących stanowisko pomiarowe z kombajnem badanym. Przebadano również wpływ zmian temperatury otoczenia oraz wpływ wahań napięcia sieci na dokładność pomiarów momentomierza i obrotomierza. Błędy dodatkowe spowodowane zmianą temperatury w zakresie od 10°C do 30°C oraz wahaniami napięcia sieci w zakresie od 200 V do 240 V nie przekraczają $\pm 0,5\%$ zakresu pomiarowego momentomierza i nie mają żadnego wpływu na wskazania obrotomierza.

Po zainstalowaniu momentomierza dokonano jego statycznego wzorcowania w układzie mechanicznym przedstawionym na rys.7.



Rys.7. Układ mechaniczny do wzorcowania momentomierza
Fig.7. Mechanical system for torque meter calibration

Miała sztywność specjalnie wykonanej do tego celu kratownicy o długości ramienia $l = 3\text{ m}$, umożliwiła wzorcowanie momentomierza tylko do wartości ok. 0,3 momentu nominalnego. W przebadanym zakresie zmian momentu skręcającego stwierdzono, że błąd liniowości wykonanego momentomierza nie przekracza $\pm 0,2\%$, a niedokładność pomiaru momentu nie przekracza $\pm 1\%$ wartości momentu nominalnego.

Poprawność pracy obrotomierza badano za pomocą kwarcowego generatora impulsów wzorcowych. Zastosowanie w elektronicznym układzie obrotomierza

generatora kwarcowego do odmierzenia czasu (nieokładność nie przekracza $\pm 10^{-3} \%$), w którym zliczane są impulsy z przetwornika MPL-10/s, umożliwia pomiar prędkości obrotowej z nieokładnością \pm jeden zliczany impuls.

5. Wnioski

Przedstawione i przeanalizowane układy pomiarowe momentu skręcającego, prędkości obrotowej i mocy mechanicznej na głównym wale kombajnu, umożliwiają rejestrację chwilowych wartości istotnych parametrów mechanicznych podczas laboratoryjnych badań górniczych kombajnów ścianowych. Do rejestracji przebiegów szybkozmiennych w zakresie do 10 kHz, należy stosować elektroniczny oscyloskop z pamięcią lub komputerowy system rejestracji danych. Istnieje też możliwość rejestracji pojedynczych impulsów momentu skręcającego, do pomiaru przebiegu momentu podczas uruchomienia napędu kombajnu lub w chwili jego gwałtownego przeciążenia.

Opracowano również dwustanowiskowy układ pomiarów wybranych parametrów mechanicznych do równoczesnego badania obu głowic górniczego kombajnu ścianowego.

LITERATURA

- [1] Hagel R., Zakrzewski J.: Miernictwo dynamiczne. WNT, Warszawa 1984.
- [2] Piech A., Pajak A.: Przyrząd do pomiaru dynamicznych momentów obrotowych. Instytut Lotnictwa, VII Konferencja MDWM, Warszawa 1989.
- [3] Romaniuk A.: Miernik prędkości obrotowej. Instytut Lotnictwa, VII Konferencja MDWM, Warszawa 1989.
- [4] Sidor T.: Zestaw aparatury do pomiarów parametrów przemysłowych pracujących na modulacji częstotliwości. Praca Naukowa Pol. Wrocławskiej nr 26, Wrocław 1984.
- [5] Szuman P.: Cyfrowe mierniki prędkości obrotowej, przyspieszenia kąowego oraz przemieszczenia. Instytut Lotnictwa, VII Konferencja MDWM, Warszawa 1989.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Zygmunt Kuśmierek

Wpłynęło do redakcji dnia 3 kwietnia 1990 r.

РЕГИСТРАЦИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА, СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ И МОЩНОСТИ УГОЛЬНОГО КОМБАЙНА

Р е з ю м е

В статье представлен метрологический анализ методов измерения и регистрации временных значений крутящего момента, скорости вращения и механической мощности переносимых (во время лабораторных исследований) основным валом угольного комбайна. Программа исследований предусматривает имитацию состояний близких к нагрузкам выступающим в действительных горных условиях. Примером таких нагрузок являются игновенные нагрузки выступающие бо брена добычи угля комбайном. Для измерения момента использован тензометрический метод. Из-за малой скорости вращения вала применена скользящая связь (кольцо-щетка) для питания вращательного тензометрического моста, измерительного усилителя а также для передачи усиленного напряжения из моста к моментомеру. Измерение скорости вращения выполнено цифровым методом с использованием вращательно-импульсного датчика типа MPL-10/S и цифровой или аналоговой регистрации. Значение временной мощности получено на выходе аналоговой умножительной системы или вычислительной системы регистрации и обработки измерительных данных.

RECORDING OF TWISTING MOMENT, ROTATIONAL SPEED AND POWER OF A COMBINED CUTTER LOADER

S u m m a r y

The paper deals with a metrological analysis of measuring and recording methods of actual value of twisting moment, rotational speed and mechanical power transmitted during laboratory tests by a combined cutter loader main shaft. The program included simulation of approach states to loadings existing in real mining conditions e.g. sudden loadings of machining unit in coal mining by means of a combined cutter loader.

To measure twisting moment a strain gauge method has been used. Due to the small rotational speed of the combined cutter loader shaft a ring-brush has been applied to supply a spinning strain gauge bridge and a measuring amplifier and to transmit amplified measuring voltage from bridge to the torque meter unit.

Rotational speed has been measured by digital method using miniature rotation-impuls converter MPL-10/S and digital or analogue rotational speed recording.

Actual power value has been calculated on output analogue multiplying system or a computer recording and data processing system.