

Krzysztof Krauze, Krzysztof Kotwica**

UPROSZCZONA METODA OKREŚLANIA STANU TECHNICZNEGO CIĘŻKICH UDAROWYCH MŁOTÓW HYDRAULICZNYCH WYKORZYSTYWANYCH DO PRAC POMOCNICZYCH W GÓRNICTWIE ODKRYWKOWYM

1. Wprowadzenie

Historia ciężkich młotów hydraulicznych rozpoczęła się około czterdzieści lat temu. Młot hydrauliczny, stosowany najczęściej jako dodatkowe wyposażenie koparki, jest zatem konstrukcją stosunkowo młodą. W swych początkach, w latach 60., młoty były raczej niewielkie, a ich ówczesne zastosowania można określić dziś jako prace pomocnicze o charakterze lekkim. Rosnące w skali światowej potrzeby znalezienia narzędzia przeznaczonego do cięższych prac, a zatem charakteryzującego się silniejszą konstrukcją i większą masą, spowodowały znaczne postępy w tej dziedzinie. Problem występował przede wszystkim w górnictwie skalnym i podziemnym, które od dawna oczekiwały na rozwiązanie bardzo kłopotliwego i kosztownego zagadnienia kruszenia nadgabarytowych brył urobku. Dotychczas stosowano konwencjonalną metodę wiercenia i strzelania niemożliwych do dalszego przerobu głazów, co wiązało się z dużym niebezpieczeństwem, stratami czasu i rozrzutem kruszonej bryły. Dzisiejsze zastosowanie młotów hydraulicznych to nie tylko górnictwo podziemne oraz odkrywkowe, ale także budownictwo lądowo-wodne, hutnictwo oraz wiele innych gałęzi przemysłu. Współczesne młoty hydrauliczne są wykorzystywane w dwóch podstawowych wersjach: stacjonarnej — montowane na wysięgnikach instalowanych w zakładach górniczych, w punktach nadawy odstrzelonego urobku lub w zakładach przerobczych, oraz mobilnej — instalowane na maszynach samojezdnych, np. na wysięgnikach koparek lub ładowarek hydraulicznych, wykorzystywane do rozbijania brył ponadwymiarowych, a także do bezpośredniego urabiania i wykonywania ociosów wyrobisk czy wyrównywania czoła przodka górniczego. Możliwości wykorzystania ciężkich młotów hydraulicznych w górnictwie odkrywkowym jako maszyn urabiających i maszyn wspomagających

* Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

jących proces wydobywczy np. do udostępniania złożeń i kruszenia nadgabarytów oraz widok takich młotów podczas pracy przedstawiono na rysunkach 1 i 2 [4, 5].



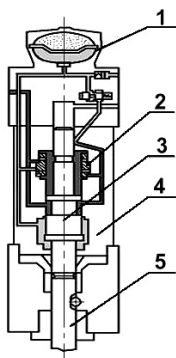
Rys. 1. Możliwości wykorzystania ciężkich młotów hydraulicznych w górnictwie odkrywkowym



Rys. 2. Widok ciężkich młotów hydraulicznych stosowanych w górnictwie odkrywkowym do:
a) urabiania przodka; b) urabiania spągu; c) rozbijania brył nadwymiarowych

W górnictwie polskim wykorzystywane są obecnie najczęściej młoty hydrauliczne bi-jakowe o działaniu bezpośrednim [4] (rys. 3).

Ogólną budowę takich młotów przedstawiono na rysunku 3. Podstawowymi elementami są: korpus młota (4), element uderzający tłok (bijak) (3), wykonujący w cylindrze roboczym głowicy udarowej ruchy posuwisto-zwrotne, element uderzany (narzędzie) (5), kontaktujący się bezpośrednio z calizną skalną, układ rozrządu (zaworowy lub suwakowy) (2), sterujący samoczynnie ruchami tłoka (bijaka), i akumulator ciśnieniowy, stwarzający rezerwę energii w końcowej fazie suwu roboczego bijaka (1).



Rys. 3. Schemat młota hydraulicznego bijakowego o działaniu bezpośrednim

Objaśnienia w tekście

Szerokie zastosowanie młotów hydraulicznych wymusza na użytkowniku utrzymywanie ich w należytym stanie technicznym. Chodzi tu przede wszystkim o zapewnienie odpowiedniej, zgodnej z zaleceniami producenta, energii uderu i liczby uderzeń młota oraz parametrów zasilania (ciśnienie i natężenie przepływu), jak też wykonanie zalecanych przeglądów i remontów.

Pozwala to na efektywne wykorzystanie pracy młota hydraulicznego. Producenci i użytkownicy stosują różne metody określania wartości tych parametrów, które w wielu przypadkach są bardzo koszt- i czasochłonne. Jednak jest to niezbędne dla prawidłowego zdiagnozowania stanu technicznego młota hydraulicznego i decyzji, czy młot wymaga przeglądu i remontu, czy też może jeszcze być wykorzystany w dalszym ciągu. Poniżej przedstawiono kilka z obecnie stosowanych metod i zaproponowano nową, uproszczoną metodę, opracowaną przez AGH w Krakowie we współpracy z KGHM Polska Miedź SA.

2. Metody wyznaczania energii uderu młota hydraulicznego

Energia uderu, obok częstotliwości uderu i parametrów zasilania, jest wielkością, którą użytkownik kieruje się przy doborze młota hydraulicznego, dlatego ważne jest, aby wartości podawane przez producentów były porównywalne między sobą. Jednakże firmy produ-

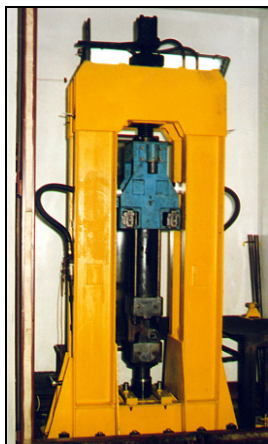
kujące młoty hydrauliczne posługują się własnymi metodami wyznaczania energii uderu. Podawane w katalogach wartości są często wyidealizowane, określane w sposób teoretyczny z pominięciem rzeczywistych czynników powodujących ich pogorszenie. Zarówno porównanie, jak i dobór młota hydraulicznego na podstawie tak wyznaczonych danych jest utrudniony. Z powodu tych trudności biuro MBMB (*Mounted Breaker Manufacturers Bureau*) oraz stowarzyszenie CIMA (*Construction Industry Manufacturers Association*) wydało w 1996 r. biuletyn, obowiązujący na terenie USA, w którym określono jednolitą metodę pomiaru parametrów eksploatacyjnych młotów hydraulicznych. Uwagę skupiono głównie na metodzie wyznaczania energii uderu, ponieważ parametr ten jest najważniejszym kryterium oceny przydatności eksploatacyjnej młota. Natomiast metody stosowane przez producentów są często otoczone tajemnicą, dlatego też poniżej pokrótce przedstawiono tylko niektóre z nich, do których udało się dotrzeć autorom. Są to: teoretyczna metoda wyznaczania energii uderu młota hydraulicznego [1], metoda CIMA/MBMB [3] i metoda AGH [2, 4].

W pierwszej z metod energia uderzenia jest obliczana na podstawie znanej masy bijaka i obliczonej przez rozwiązanie różniczkowego równania ruchu prędkości bijaka. Zakładano stałe ciśnienie zasilania komory roboczej oraz pomijano straty w młocie i straty wewnętrzne w narzędziu roboczym. Energia uderu w tym przypadku była równa teoretycznej energii kinetycznej bijaka.

Metoda CIMA/MBMB opiera się na pomiarze, za pomocą czujnika tensometrycznego zamocowanego na grocie, fali odkształceń wywołanej uderzeniem bijaka w grot. Metoda umożliwia bezpośredni pomiar energii oraz pośredni częstotliwości uderzeń. Wadami tej metody są: czasochłonność i wymagające precyzji klejenie tensometrów na narzędziu testowym (wymagany demontaż narzędzia), możliwość zniszczenia układu tensometrycznego na skutek dużych przeciążeń w czasie przekazywania energii przez bijak na grot i potrzeba wzorcowania układu przed każdorazowym pomiarem. Pomimo wad metoda ta jest stosowana w USA przez czołowych producentów młotów hydraulicznych, co umożliwia porównanie parametrów zewnętrznych młota (energia uderu, częstotliwość) pomiędzy różnymi producentami.

Wyżej wymienione metody, ze względu na swoje wady, przyczyniły się do powstania innej metody wyznaczania energii i częstotliwości uderu [2, 4]. Metoda taka powstała przy współpracy AGH Kraków i O/ZG „Rudna”. Pozwala ona nie tylko na wyznaczenie wartości energii i częstotliwości uderu, ale także umożliwia przeprowadzenie pomiaru wartości pozostałych parametrów (ciśnienia w kanale zasilającym i spływowym oraz natężenia przepływów w tych kanałach). Dzięki temu można zdiagnozować stan techniczny młota hydraulicznego (ze stwierdzeniem, która z części młota jest zużyta). Pomiar energii młotów udarowych polega na metodzie pośredniej, a dokonywany jest poprzez specjalny przetwornik tensometryczny, umieszczony pod grotem badanego młota i wzorcowany co pewien okres.

Podczas rzeczywistego badania młota energia uderu przekazywana jest na przetwornik poprzez grot. Pomiar jest przeprowadzany na specjalnym stanowisku, które oprócz pomiaru energii i częstotliwości uderu umożliwia także pomiar parametrów hydraulicznych (ciśnięć oraz wydatków na zasilaniu i spływie). Widok stanowiska diagnostycznego pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Widok stanowiska diagnostycznego z zamocowanym młotem

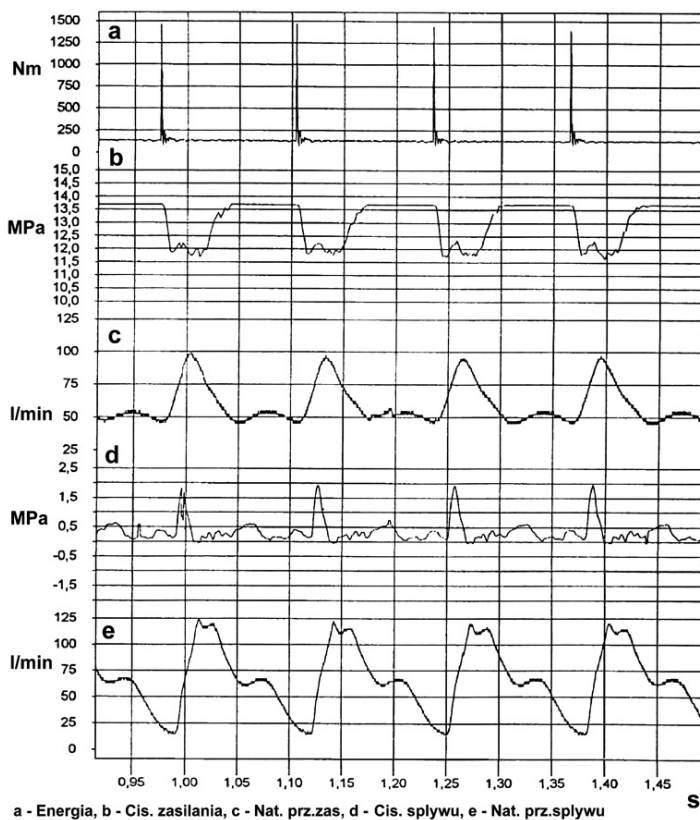
Konstrukcja mechaniczna stanowiska składa się z ramy osadzonej na fundamencie. Wewnątrz ramy za pomocą uchwyty zamocowany jest młot. Grot młota osadzony jest w gnieździe czujnika. Stanowisko zabudowano komorą wyciszającą, w celu zapewnienia komfortu pracy obsłudze stanowiska. Do rejestrowania przebiegu wartości naprężeń, wartości ciśnień, wartości przepływów i temperatury zastosowano układ rejestrujący wyposażony w oprogramowanie do rejestracji (pakiet DasyLab) oraz analizy (pakiet Delphi). Opis wyników przeprowadzonych na ww. stanowisku pomiarów przedstawiono w kolejnym podrozdziale.

3. Przykład pomiarów parametrów pracy młota hydraulicznego na stanowisku diagnostycznym

Cykl badawczy pojedynczego młota podzielono na trzy etapy:

1. przygotowanie i ustalenie temperatury pracy młota,
2. pomiar parametrów hydraulicznych i energetycznych,
3. analiza wyników pomiarów i opracowanie raportu.

Zastosowane w programie do rejestracji pomiarów okna wizualizacji mierzonych sygnałów na bieżąco umożliwiało wstępną ocenę poprawności prowadzonych badań. Dzięki temu, w przypadku wykrycia uszkodzeń układu pomiarowego, mogły one być usunięte jeszcze przed rozpoczęciem analizy wyników, co pozwalało na uniknięcie błędów w ocenie stanu technicznego badanego młota. Przykładowy przebieg rejestrowanych sygnałów, możliwy do podglądu w czasie rejestracji, pokazano na rysunku 5. Po zakończeniu rejestracji mierzonych sygnałów operator uruchamiał program analizy i raportowania wyników pomiarów (etap III). Analiza wyników odbywała się w sposób automatyczny, a rola operatora sprowadzała się do uzupełnienia danych o typie i numerze młota. Program do analizy odrzucał wyniki, których wartości sugerowały, że mogą być obarczone błędem.



Rys. 5. Przykładowy przebieg rejestrowanych wartości parametrów zewnętrznych pracy młota

W wyniku analizy uzyskano kilkanaście wartości parametrów charakteryzujących stan techniczny młota:

- energia uderu E_u , Nm;
- częstotliwość uderu n , udar/sec;
- ciśnienie w kanale zasilającym P_z , MPa i kanale spływowym P_s , MPa;
- natężenie przepływu w kanale zasilającym Q_z [l/min] i kanale spływowym Q_s , l/min;
- temperatura oleju w młocie, °C;
- zlinearyzowany współczynnik k_p , określający zależność energii uderzenia od ciśnienia zasilania, oraz współczynnik k_q , określający zależność częstotliwości uderzeń od natężenia przepływu na zasilaniu;
- sprawność całkowita młota η .

Dodatkowym elementem programu jest moduł „Pomiary geometryczne”, umożliwiający analizę współpracy poszczególnych elementów młota na podstawie pomiaru z dużą dokładnością (wartość działki elementarnej $W_c = 0,001$ mm) wielkości geometrycznych tych

elementów oraz otrzymanych z pomiaru wartości parametrów energetycznych i hydraulicznych, opracowany w pakiecie Delphi. Analiza otrzymanych wielkości, na podstawie zapisanych w programie wielkości wzorcowych oraz otrzymanych z pomiaru wartości parametrów energetycznych i hydraulicznych, pozwala na pełną diagnostykę młota i automatyczne wytypowanie wadliwych elementów młota lub parametrów pracy niezgodnych z wzorcem.

Metoda ta wiąże się jednak z czasochłonnymi czynnościami: demontażem i transportem młota ze stanowiska pracy na stanowisko diagnostyczne oraz montażem młota na stanowisku. W przypadku, kiedy młot jest zakwalifikowany do dalszej eksploatacji, wraca on na swoje stanowisko pracy — czyli ponownie zostają wykonane wymienione czynności. Dlatego też prześledziwszy przebieg wykonywania badań ww. metodą oraz analizując otrzymane wyniki dla różnych młotów zaproponowano inny, uproszczony sposób diagnostyki młotów. Metoda ta nie zastępuje metody AGH, ma jedynie za zadanie ułatwić wstępną diagnostykę młotów. Ułatwienie to wiąże się z przeprowadzaniem badań na stanowisku pracy, czyli eliminuje czynności związane z transportem, montażem i demontażem młota w przypadku, kiedy stwierdzona zostaje jego sprawność. Kolejnym uproszczeniem jest wyeliminowanie układu mierzącego energię oraz częstotliwość udaru. Mierzonymi i rejestrowanymi wielkościami są wartości parametrów: ciśnienie w kanale zasilającym P_z i spływowym P_s oraz natężenie przepływu w kanale zasilającym Q_z i spływowym Q_s .

Badania wykonano na stanowisku diagnostycznym na szeregu ciężkich młotów hydraulicznych typu ROXON i RAMMER. Przeprowadzono je na młotach z elementami technicznie sprawnymi, a następnie kolejno wymieniano w nich na elementy zużyte: tuleję czołową, tuleję środkową, tuleję tylną, wszystkie tuleje jednocześnie, zawór regulacji ciśnienia oraz jego elementy (tłoczek, iglica), przy wartościach parametrów zasilania (ciśnienie i natężenie przepływu) oraz wartościach nastawy na zaworze regulacji ciśnienia zalecanych przez producentów tych młotów. W ramach badań przeprowadzono rejestrację przebiegów wartości parametrów zewnętrznych pracy młota, pomiar wielkości liniowych i analizę czynników zewnętrznych wpływających na wartości i przebiegi parametrów hydraulicznych młotów hydraulicznych oraz wpływu stanu technicznego poszczególnych elementów na jakość pracy młota. W wyniku tej analizy ustalono, że temperatura młota ma wpływ na wartości jego parametrów zewnętrznych: energię udaru, częstotliwość udaru, ciśnienie w kanale zasilającym i spływowym oraz przepływów na zasilaniu i spływie, dlatego też warunkiem poprawnej oceny stanu młota jest zachowanie podczas pomiarów temperatury młota zbliżonej do 50°C (temperatura pracy młota w warunkach przemysłowych).

Na podstawie przeprowadzonej analizy opracowano tablicę oceny stanu technicznego młota hydraulicznego (rys. 6), w której zamieszczono przebiegi parametrów hydraulicznych młota w zależności od stopnia zużycia danego elementu [5]. Aby wstępnie zdiagnozować stan techniczny młota hydraulicznego (który z elementów jest wadliwy i czy należy go wymienić), należy porównać przebiegi i wartości ciśnień i wydatków na zasilaniu i spływie, otrzymane w wyniku pomiarów przeprowadzonych w warunkach pracy młota, z przebiegami zamieszczonymi w wyżej wymienionej tablicy. Należy tylko pamiętać o sporządzeniu wykresów w tych samych jednostkach na osi rzędnych i odciętych.

Stan techniczny młota									
elementy sprawne technicznie		Nazwa elementu o zwiększonym stopniu zużycia							
		Tuleja czolowa		Tuleja srodkowa		Tuleja tylna		Wszystkie tuleje	
nr	parametr	1		2		3		4	
1	ciśnienie w kanale zasysającym P_z [MPa]	min	max	min	max	min	max	min	max
		18,0	13,9	18,0	13,9	18,0	13,9	18,0	13,9
		12,5	10,0	12,5	10,0	12,5	10,0	12,5	10,0
		7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
2	natężenie przepływu w kanale zasysającym Q_s [l/min]	min	max	min	max	min	max	min	max
		100	100	100	100	100	100	100	100
		75	75	75	75	75	75	75	75
		50	50	50	50	50	50	50	50
3	ciśnienie w kanale spływowym P_s [MPa]	min	max	min	max	min	max	min	max
		0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
		0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
		0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
4	natężenie przepływu w kanale spływowym Q_s [l/min]	min	max	min	max	min	max	min	max
		125	125	125	125	125	125	125	125
		100	100	100	100	100	100	100	100
		75	75	75	75	75	75	75	75
5	zakres wartości	min	max	min	max	min	max	min	max
		P_z MPa	10,57	13,14	P_z MPa	10,63	13,28	P_z MPa	11,81
		Q_s l/min	50,5	100,6	Q_s l/min	50,3	101,8	Q_s l/min	98,5
		P_s MPa	0	0,37	P_s MPa	-0,01	0,25	P_s MPa	-0,01
6	Uwagi	min	max	min	max	min	max	min	max
		Q_s l/min	50,1	98,6	Q_s l/min	62,5	89,9	Q_s l/min	57,7

Rys. 6. Tablica oceny stanu technicznego młota hydraulicznego na podstawie przebiegów wartości parametrów hydraulicznych (P_z , P_s , Q_s , Q_z)

4. Uproszczona metoda diagnozowania stanu technicznego młota hydraulicznego

Powyżej opisana metoda pozwala na jakościowe zdiagnozowanie młota, tj. określenie jego ewentualnych zużytych elementów, nie pozwala jednak na oszacowanie wartości energii uderu młota — parametru najistotniejszego do określenia efektywności jego pracy. Dlatego też zaproponowano zamodelowanie pracy młota hydraulicznego i stworzenie modelu matematycznego ruchu bijaka umożliwiającego obliczenie wartości prędkości bijaka w funkcji wartości ciśnienia na zasilaniu i spływie, co powinno z wystarczającą dokładnością pozwolić na wyznaczenie wartości energii kinetycznej bijaka, a po zastosowaniu przeliczeń energii uderu grota młota [5].

Dla młotów typu ROXON lub RAMMER równanie ruchu bijaka (tłoka) można zapisać następująco:

— dla ruchu roboczego

$$m_b \ddot{x}_{br} = p_z F_p (k - 1),$$

— dla ruchu powrotnego

$$m_b \ddot{x}_{bp} = F_p (p_z - k p_s)$$

gdzie:

m_b — masa bijaka,

p_z, p_s — zmierzona wartość ciśnienia na zasilaniu i spływie, MPa;

F_p — powierzchnia podtłokowa bijaka (tłoka), m²;

k — stosunek powierzchni nadłokowej F_n bijaka do podtłokowej F_p (najczęściej $k = 10$);

$\ddot{x}_{br}, \ddot{x}_{bp}$ — wartość przyspieszenia bijaka w ruchu roboczym i powrotnym (druga pochodna wartości przemieszczenia bijaka), m/s².

Praktyczne wykorzystanie powyższych równań w celu wyznaczenia prędkości bijaka v_{br} wymaga określenia punktów zwrotnych tłoka oraz opracowania algorytmu i programu do symulacji ruchu bijaka, gdzie wielkościami określonymi na podstawie pomiarów są przebiegi wartości ciśnień p_z i p_s . Dysponując wartościami przebiegów ciśnień p_z i p_s , masy bijaka m_b , powierzchni podtłokowej bijaka F_p oraz stosunku k powierzchni nadłokowej F_n bijaka do podtłokowej F_p można wyznaczyć interesujące prędkości oraz energię kinetyczną bijaka E_b z zależności:

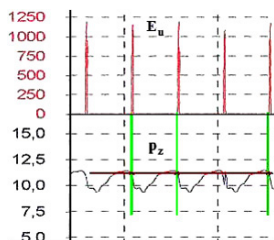
$$E_b = \frac{m_b v_{br}^2}{2}.$$

Należy pamiętać, że pod określeniem energii uderzenia młota najczęściej rozumie się energię E_g przekazywaną przez grot na skalę. Wartość tej energii można określić przy założeniu określonej sztywności (lub współczynnika restytucji) k_s materiału, z którego wykonany jest grot i bijak, oraz znanej masy grota m_g z zależności:

$$E_g = \frac{(1 + k_s)^2 m_g m_b}{(m_b + m_g)^2} E_b.$$

Takie podejście do wyznaczenia energii E_g wymaga wykorzystania techniki komputerowej, czyli opracowania algorytmu i programu pozwalającego na ewentualną analizę sygnałów pomiarowych oraz symulację ruchu bijaka młota hydraulicznego, a także jego implementację. Wykorzystano do tego pakiet Matlab wersja 5.2, który jest programem wykorzystywanym do obliczeń inżynierskich, zwłaszcza pod kątem modelowania układów elektronicznych i automatycznych systemów kontroli.

Na podstawie przeprowadzonych prób i symulacji stwierdzono, że najlepszym sposobem określenia energii bijaka jest wyznaczenie jej w wielu cyklach pracy młota. Takie podejście umożliwia wyznaczenie średniej wartości energii, niezależniąc wynik od zakłóceń toru pomiarowego. Analiza taka wymaga jednak jednoznacznego określenia na przebiegach wartości ciśnień punktów, w których bijak znajduje się w skrajnych położeniach: początek suwu roboczego i moment uderzenia. W pierwszej kolejności podjęto próbę wykorzystania wartości przemieszczenia jako parametru sterującego układem symulacyjnym, jednak nie uzyskano zadowalających wyników. Obliczona wartość przemieszczenia dość znacznie różniła się jednak od wartości rzeczywistego skoku bijaka. Dlatego, na podstawie obserwacji przebiegów ciśnienia podczas pracy młota, podjęto próbę wyznaczenia początku suwu roboczego przez określenie tzw. miejsca wystąpienia lokalnego maksimum ciśnienia zasilania. Okazało się, że jest to poprawne rozwiązanie. Na podstawie analiz zarejestrowanych przebiegów wartości parametrów zewnętrznych młotów hydraulicznych RAMMER i ROXON zaproponowano również sposób określania chwili wystąpienia uderzenia. Zauważono, że w momencie wystąpienia uderzenia następuje spadek wartości ciśnienia zasilania od wartości maksymalnej do pewnego poziomu. Jest on prawie identyczny dla poszczególnych uderzeń. Przedstawiono to na rysunku 7.



Rys. 7. Schemat wyznaczania poziomu spadku wartości ciśnienia na zasilaniu w momencie wystąpienia uderzenia

Linie pionowe oznaczają początek wystąpienia udaru, a linia pozioma łączy punkty ich przecięcia z przebiegiem wartości ciśnienia na zasilaniu. Przeglądając zarejestrowane wartości liczbowe (częstość próbkowania 1000 punktów na sekundę) wyznaczono chwile wystąpienia udaru z dokładnością do 1 μ s i przypisano im wartości ciśnienia zasilania p_{zu} . Porównując je z maksymalną wartością ciśnienia zasilania p_{zmax} dla danego cyklu roboczego bijaka, obliczono wartość współczynnika spadku ciśnienia zasilania w momencie udaru k_{pu} według zależności:

$$k_{pu} = \frac{p_{zu}}{p_{zmax}}.$$

Stwierdzono, że wartość tego współczynnika jest zbliżona, zarówno dla poszczególnych udarów, jak i dla zarejestrowanych przebiegów różnych młotów typu RAMMER i ROXON. Można ją zatem użyć jako parametr sterujący do określenia chwili wystąpienia udaru. Po przemnożeniu wartości wyznaczonego maksimum lokalnego ciśnienia przez wartość współczynnika spadku ciśnienia zasilania w momencie udaru k_{pu} otrzyma się wartość ciśnienia zasilania w momencie udaru i w momencie wystąpienia takiej wartości z wczytywanego do programu wektora kolejnych wartości ciśnienia na zasilaniu należy przyjąć wystąpienie udaru i przeprowadzić obliczenia energii udaru. Przeprowadzone symulacje wykazały dużą zgodność z wynikami pomiarów przeprowadzonych na stanowisku diagnostycznym.

Wykorzystując opracowany program przeprowadzono badania dołowe czterech młotów typu ROXON i RAMMER w miejscu ich pracy, na kratkach załadowniczych. Do pomiaru wykorzystano tylko przetworniki ciśnienia zainstalowane na zasilaniu i spływie oraz mały, przenośny rejestrator do zapisywania przebiegów ciśnienia. Widok jednego z młotów podczas pomiarów oraz widok rejestratora przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Widok jednego z młotów ROXON z zamontowanymi przetwornikami ciśnienia, przygotowanego do badań oraz przenośnego rejestratora pomiarowego M2W3

Te same młoty przewieziono, bez jakichkolwiek przeróbek, na stanowisko diagnostyczne i przeprowadzono w porównywalnych warunkach (parametry zasilania i temperatura pracy) pomiary wartości energii uderu. Wyniki pomiarów porównano z wartościami oszacowanymi za pomocą opracowanego programu na podstawie pomiaru wartości ciśnień w warunkach dołowych oraz dodatkowo na stanowisku badawczym. Zamieszczono je w tabeli 1.

Można zauważyć, że oszacowane wartości energii uderu różnią się od zmierzonych nie więcej niż 3,5%.

TABELA 1

Porównanie wartości średnich energii uderu grota E_g obliczonych według wartości ciśnienia na zasilaniu, zarejestrowanych podczas prób dołowych i stanowiskowych oraz wartości rzeczywistych E_{gzm} , zmierzonych na stanowisku badawczym

Typ młota	Wartość energii uderu grota [J]		
	obliczona E_g wg wartości ciśnienia		zmierzona E_{gzm} na stanowisku
	kopalnia	stanowisko	
Rammer S52 nr R67	1221	1186	1195
Rammer S52 nr R59	1551	1509	1498
Roxon 602 nr F15	1658	1619	1638
Roxon 602 nr F54	1236	1196	1215

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań stanowiskowych i półprzemysłowych młota hydraulicznego wykazano, że istnieje możliwość jego diagnostyki i określania wartości energii uderu przy użyciu wcześniej opisanej metody, tylko na podstawie pomiaru wartości parametrów: ciśnienie w kanale zasilającym P_z i spływowym P_s oraz natężenie przepływu w kanale zasilającym Q_z i spływowym Q_s . Nie jest to metoda zastępująca obecnie stosowane, ale pozwalająca na wstępne określenie stanu technicznego młota hydraulicznego w miejscu jego pracy przy minimalnym nakładzie kosztów.

Przedstawione metody mogą znaleźć zastosowanie przy wstępnej ocenie stanu technicznego młotów hydraulicznych innego typu niż ROXON i RAMMER, lecz wiąże się to z przeprowadzeniem podobnych badań stanowiskowych i pomiarów oraz przeprowadzeniem dokładnej analizy dla określenia wpływu stanu technicznego poszczególnych elementów badanego młota na uzyskane wartości i przebiegi parametrów energetycznych i hydraulicznych.

LITERATURA

- [1] *Korzeń Z., Sokolski M.*: Sprawność procesu pracy młotów hydraulicznych do uderowego urabiania skał silnie zwięzłych. *Archiwum Górnictwa*, t. 28, z. 3, 1983
- [2] *Krauze K.*: Eksperymentalne wyznaczanie energii uderów młota hydraulicznego. *Archiwum Budowy Maszyn*, vol. XLVII, 2001
- [3] "Measuring Guide for tool energy rating for hydraulic breakers", Mounted Breaker Manufacturers Bureau of the Construction Industry Manufacturers Association, Milwaukee USA 1996.
- [4] *Micek P.*: Metodyka oceny stanu technicznego młotów hydraulicznych na podstawie badań laboratoryjnych. AGH Kraków 2000 (rozprawa doktorska)
- [5] *Szykowny K.*: Określenie energii uderu młotów hydraulicznych na podstawie pomiarów wybranych parametrów pracy. AGH Kraków – Lubin 2006 (rozprawa doktorska)