

METODY OGRANICZENIA AWARYJNOŚCI WIELONACZYNIOWYCH KOPAREK KOŁOWYCH W GRUNTACH Z WTRĄCENIAMI NIEURABIALNYMI

METHODS OF DECREASING OF BUCKET WHEEL EXCAVATORS FAILURES WORKING IN SOILS INCLUDING UNMINEABLE INTRUSIONS

Adam Bajcar, Marek Onichimiuk, Marian Wygoda - „Poltegor-Institut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

W artykule zaprezentowano obecnie prowadzone w „Poltegor-Institut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego prace, których celem jest ograniczenie liczby awarii koparek eksploatowanych w gruntach zawierających wtrącenia nieurabialne. Zostanie to osiągnięte poprzez optymalne dostosowanie wielonaczyiniowych koparek już eksploatowanych i nowo budowanych do urabiania nadkładu z przerostami o nadmiernych oporach urabiania oraz wtrąceniami nieurabialnymi, monitorowanie wyężenia ustroju nośnego wielonaczyiniowej koparki kołowej i opracowanie metody analizowania sygnałów diagnostycznych dla bieżącej oceny zagrożenia uszkodzeniem ustroju nośnego oraz ciągłej kontroli wytrzymałości zmęczeniowej ustroju.

Słowa kluczowe: wielonaczyiniowa koparka kołowa, górnictwo odkrywkowe, wtrącenia nieurabialne

The article presents the work carried out in the Poltegor Institute, which aims to reduce the number of failures of bucket wheel excavators operating in soils including nonmineable intrusions. This will be achieved by adaptation of bucket wheel excavators already in service and newly built to for exploitation in such conditions, monitoring of the load bearing capacity of a bucket wheel excavator; developing a diagnostic signal analysis method for current superstructure damage hazard assessment and continuous endurance monitoring.

Keywords: bucket wheel excavator, open cast mining, nonmineable intrusions

WSTĘP

W istniejących jak i nowo otwieranych kopalniach węgla brunatnego występują coraz trudniejsze warunki urabiania, spowodowane głównie występowaniem w nadkładzie coraz liczniejszych wtrąceń nieurabialnych i przerostów o nadmiernych oporach urabiania. Przy urabianiu takich ośrodków występują duże obciążenia dynamiczne jak również te o charakterze impulsowym.

Na skutek pogłębiania się niekorzystnych zjawisk wymienionych powyżej podjęto w „Poltegor-Institut” prace zmierzające do kompleksowego rozwiązania problemu dotyczącego zwiększonej awaryjności koparek eksploatowanych w gruntach trudno urabialnych. Znalazło to odbicie w realizowanym obecnie projekcie finansowanym przez Fundusz Badawczy Węgla i Stali oraz Narodowe Centrum Badań i Rozwoju pt. „Praca koparek kołowych w warunkach występowania w urabianym ośrodku utworów o nadmiernych oporach urabiania jak i wtrąceń nieurabialnych - BEWEXMIN”, którego liderem jest „Poltegor-Institut”. Projekt ten jest realizowany wspólnie z trzema partnerami przemysłowymi: PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna Spółka Akcyjna S.A., Oltenia Energy Complex z Rumunii oraz Public Power Corporation z Grecji, którzy w swoich krajach są największymi produ-

centami energii elektrycznej z węgla brunatnego. Ponadto w projekcie biorą udział następujące uczelnie oraz instytuty naukowe: VUHU Výzkumný ústav pro hnědé uhli z Czech, Technical University of Crete, National Technical University of Athens, University of Petrosani oraz Instytut Techniki Górniczej KOMAG.

Projekt BEWEXMIN podzielony jest na trzy pakiety robocze, które są ze sobą powiązane i tworzą kompletny zespół działań dążących do tego samego celu, jakim jest zmniejszenie awaryjności koparek kołowych w trudnych warunkach urabiania [1].

- Optymalne dostosowanie wielonaczyiniowych koparek już eksploatowanych i nowo budowanych do urabiania nadkładu z przerostami o nadmiernych oporach urabiania oraz wtrąceniami nieurabialnymi.
- Monitorowanie wyężenia ustroju nośnego wielonaczyiniowej koparki kołowej i metoda analizowania sygnałów diagnostycznych dla bieżącej oceny zagrożenia uszkodzeniem ustroju nośnego i ciągłej kontroli wytrzymałości zmęczeniowej ustroju.
- Działający w czasie rzeczywistym system kontroli opierający się o metody geofizyczne umożliwiające wykrywanie wtrąceń skalnych nie nadających się do wydobywania przez koparkę kołową.

PAKIETY ROBOCZE

Optymalne dostosowanie wielonaczyniowych koparek już eksploatowanych i nowo budowanych do urabiania nadkładu z przerostami o nadmiernych oporach urabiania oraz wtrąceniami nieurabialnymi

Celem pierwszego pakietu roboczego jest określenie wymagań stawianych budowie kołowych koparek wielonaczyniowych, aby w warunkach urabiania ośrodka zawierającego utwory o nadmiernych oporach i nieurabialne wtrącenia uzyskać możliwie małe obciążenia dynamiczne maszyny oraz właściwą odporność ustroju nośnego maszyny na te obciążenia [2].

W ramach powyższego zadania realizowany jest szereg prac zarówno teoretycznych jak i praktycznych, na które składają się między innymi:

- opracowanie modelu matematycznego układu urabiania koparki kołowej ze szczególnym uwzględnieniem modelu obciążeń impulsowych,
- wyznaczenie, w oparciu o badania na rzeczywistych maszynach, wartości maksymalnych naprężeń w ustroju nośnym od obciążeń impulsowych przy urabianiu ośrodka z nieurabialnymi wtrąceniami oraz współczynnika naprężeń od drgań masowych w funkcji właściwości, zawartych w urabianym ośrodku, utworów o nadmiernych oporach urabiania,
- opracowanie metody wyznaczania obliczeniowej siły zastępczej, umożliwiającej właściwe uwzględnienie w obliczeniach wytrzymałościowych ustroju nośnego, obciążeń impulsowych powstających przy natrafieniu przez czerpak na nieurabialną przeszkodę.

W ramach podzadania przeprowadzono również teoretyczną analizę obciążenia dynamicznego koła czerpakowego będącego wynikiem uderzenia czerpaka w nieurabialną przeszkodę.

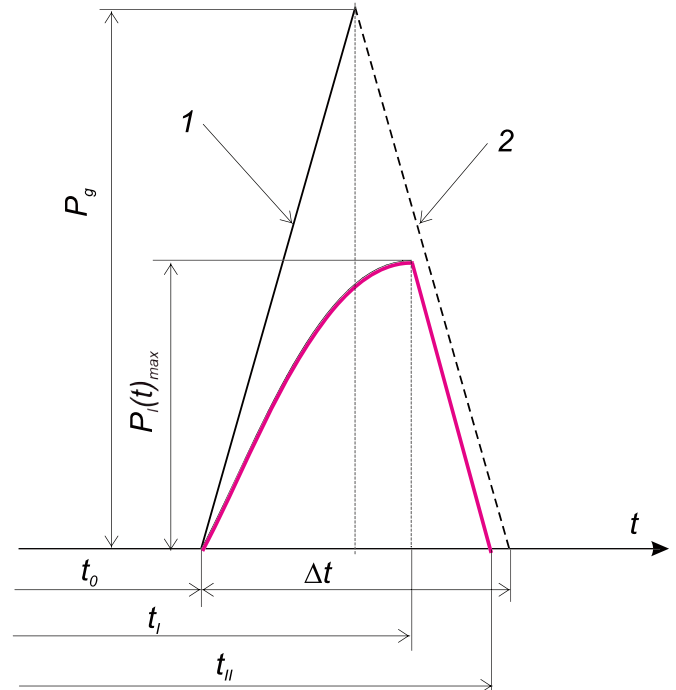
W rozważaniach przyjęto *quasi*-statyczną teorię Herta z uwzględnieniem lokalnych odkształceń plastycznych oraz rozpraszania wzbudzonych drgań sprężystych podczas uderzenia. Do badań symulacyjnych, opisujących zderzenie koła czerpakowego z nieurabialną przeszkodą, zaproponowano model obciążenia impulsowego (rys. 1), w którym wielkość przyrostu obciążenia w czasie zależy od prędkości obrotowej koła czerpakowego, która w trakcie pierwszej fazy zderzenia maleje od wartości nominalnej do zera. Chwila unieruchomienia koła, wynikająca z przebiegu symulacji, wyznacza koniec pierwszej fazy zderzenia, kiedy to cała energia impulsu zostaje zużyta na sprężyste i plastyczne odkształcenia. Aby zapobiec skokowej zmianie siły stykowej, która może wywołać wystąpienie w wynikach symulacji drgań wynikających z procedury całkowania równań, przyjęto w modelu obciążenia impulsowego zmienność siły stykowej w drugiej fazie zderzenia według zależności (1).

(1)

$$P_f(t) = \begin{cases} 0 & \text{dla } t > t_0 \\ K \left[\sin \left(\frac{\pi \varphi_{kn} - \varphi_k}{2} \right) \right]^{\frac{9}{10-p}} (t - t_0) & \text{dla } t_0 \leq t \leq t_1 \Rightarrow \varphi_k = 0 \end{cases}$$

$$P_{II}(t) = \begin{cases} P_f(t)_{\max} - K(t - t_1) & \text{dla } t_1 < t \leq t_{II} \Rightarrow P_{II}(t) = 0 \\ 0 & \text{dla } t > t_{II} \end{cases}$$

gdzie: φ_k - prędkość kątowna obrotów koła czerpakowego, φ_{kn} - nominalna prędkość kątowna obrotów koła czerpakowego, $P_f(t)_{\max}$ - maksymalna wartość siły stykowej, wynikająca z przebiegu symulacyjnego dla pierwszej wartości $\varphi_k = 0$ po czasie t_0 , K - początkowa wartość szybkości narastania obciążenia, t_1 - czas końca pierwszej fazy zderzenia, z przebiegu symulacyjnego, dla pierwszej wartości $\varphi_k = 0$ po czasie t_0 , t_{II} - czas końca drugiej fazy zderzenia, z przebiegu symulacyjnego dla pierwszej wartości $P_{II}(t) = 0$.



Rys. 1. Schemat modelu obciążenia impulsowego koła czerpakowego zaproponowanego do badań symulacyjnych

Fig. 1. Schematic model of the bucket wheel's impulse load proposed for simulation tests

gdzie: 1, 2 - linia prosta o współczynniku kierunkowym, odpowiednio K i $-K$

Szybkość narastania obciążenia w dużym stopniu zależy od wielkości zespołu urabiania. Jako miarę tej wielkości przyjęto moc napędu koła czerpakowego. Zatem:

$$K = K_N N_s \quad (2)$$

gdzie: K_N - unormowana wartość początkowej szybkości narastania obciążenia, N_s - moc silnika napędu koła czerpakowego.

W projekcie przyjęto wstępnie wartość unormowanej początkowej szybkości narastania siły stykowej równą 68 kN/(s kW), jednak wartość ta wymaga weryfikacji podczas badań doświadczalnych w dalszej części projektu [2].

Aby osiągnąć cel pakietu roboczego WP-1, czyli zmniejszenie awaryjności wielonaczyniowych koparek kołowych pracujących w gruntach trudno urabialnych lub w gruntach zawierających wtrącenia nieurabialne, konieczne jest określenie maksymalnych obciążeń obliczeniowych struktury nośnej koparki od obciążeń impulsowych.

W warunkach eksploatacji koparek kołowych w przypadku natrafienia czerpaka na twardą nieurabialną frakcję, obciążenie rzeczywiste może przekroczyć to, które przyjęto w procesie projektowania maszyny. W ramach pierwszego pakietu roboczego

zaproponowano sposób określenia nadwyżek dynamicznych w elementach konstrukcji nośnej koparki podczas uderzenia w strukturę nieurabialną. Maksymalna wielkość impulsu występuje wtedy, gdy uderzający w głaz czerpak i związane z nim wirujące elementy mechanizmu urabiania ulegają całkowitemu zatrzymaniu. Wówczas impuls ten nadaje końcowi wysięgnika koła czerpakowego energię kinetyczną równą

$$E_k = \frac{m_g}{2} \left(\frac{J_u \cdot v_0}{J_u + m_g \cdot R^2} \right)^2 \quad (3)$$

gdzie: E_k – energia kinetyczna koła czerpakowego przed uderzeniem, m_g – masa głowicy koła czerpakowego, J_u – zredukowany na oś koła czerpakowego masowy moment bezwładności napędu koła czerpakowego, v_0 – obwodowa prędkość skrawania, R – promień koła czerpakowego.

Można przyjąć, że w momencie wystąpienia maksymalnego odkształcenia zostaje ona przekształcona w całości oraz wywołane tym odkształcenia w poszczególnych prętach konstrukcji są równe naprężeniom jakie wywołałaby statyczna siła przyłożona w miejscu działania impulsu. Siłę tę można wyznaczyć z warunku uzyskania tej samej wartości energii ugięcia sprężystego wysięgnika, co nadanej energii kinetycznej przy obciążeniu impulsowym. Wartość tej siły statycznej wyraża się wówczas zależnością:

$$F_s = \frac{J_u \cdot v_0}{J_u + m_g \cdot R^2} \sqrt{\frac{m_g}{\Delta_w}} \quad (4)$$

Gdzie: F_s – Wartość siły w miejscu impulsu, Δ_w – ugięcie wysięgnika w osi koła czerpakowego.

Można przyjąć, że niedokładności dokonanych uproszczeń wyrównane zostaną współczynnikiem korekcyjnym wyznaczonym doświadczalnie. Stąd uogólniona siła w i -tym pręcie konstrukcji wywołana uderzeniem wyniesie

$$S_{ui} = S_{li} \cdot F_s \cdot k_{ui} \quad (5)$$

Gdzie: S_{ui} – siła uogólniona w i -tym pręcie konstrukcji, S_{li} – uogólniona siła wywołana jednostkową siłą o kierunku impulsu, k_{ui} – współczynnik korekcyjny.

Monitorowanie wyężenia ustroju nośnego wielonaczyniowej koparki kołowej i metoda analizowania sygnałów diagnostycznych dla bieżącej oceny zagrożenia uszkodzeniem ustroju nośnego i ciągłej kontroli wytrzymałości zmęczeniowej ustroju

Metoda monitorowania stanu elementów konstrukcji ustroju nośnego opiera się na pomiarze naprężeń w punktach diagnostycznych (referencyjnych). Punkty te należy tak dobrać, aby na ich podstawie, można było określić wyężenie ustroju nośnego w jego newralgicznych miejscach (punkty monitorowania) z uwagi na zagrożenie wyczerpania nośności całej konstrukcji. W tym celu opracowana została metoda wyboru punktów referencyjnych. Wybór miejsc newralgicznych konstrukcji oraz procedura przeniesienia (interpolacji) wartości mierzonych naprężeń do tych miejsc opiera się na obliczeniach wytrzymałościowych modelu MES zespołu koparki. Do pomiaru naprężeń należy zaprojektować lub dobrać odpowiedni system pomiarowy. System pomiarowy powinien mieć zdolność

zbierania danych ze wszystkich układów (czujników) pomiarowych z odpowiednią częstotliwością próbkowania, powinien być odporny na warunki środowiskowe pracy, w tym zakłócenia elektro-energetyczne oraz powinien mieć możliwość kalibracji i diagnostyki układów pomiarowych.

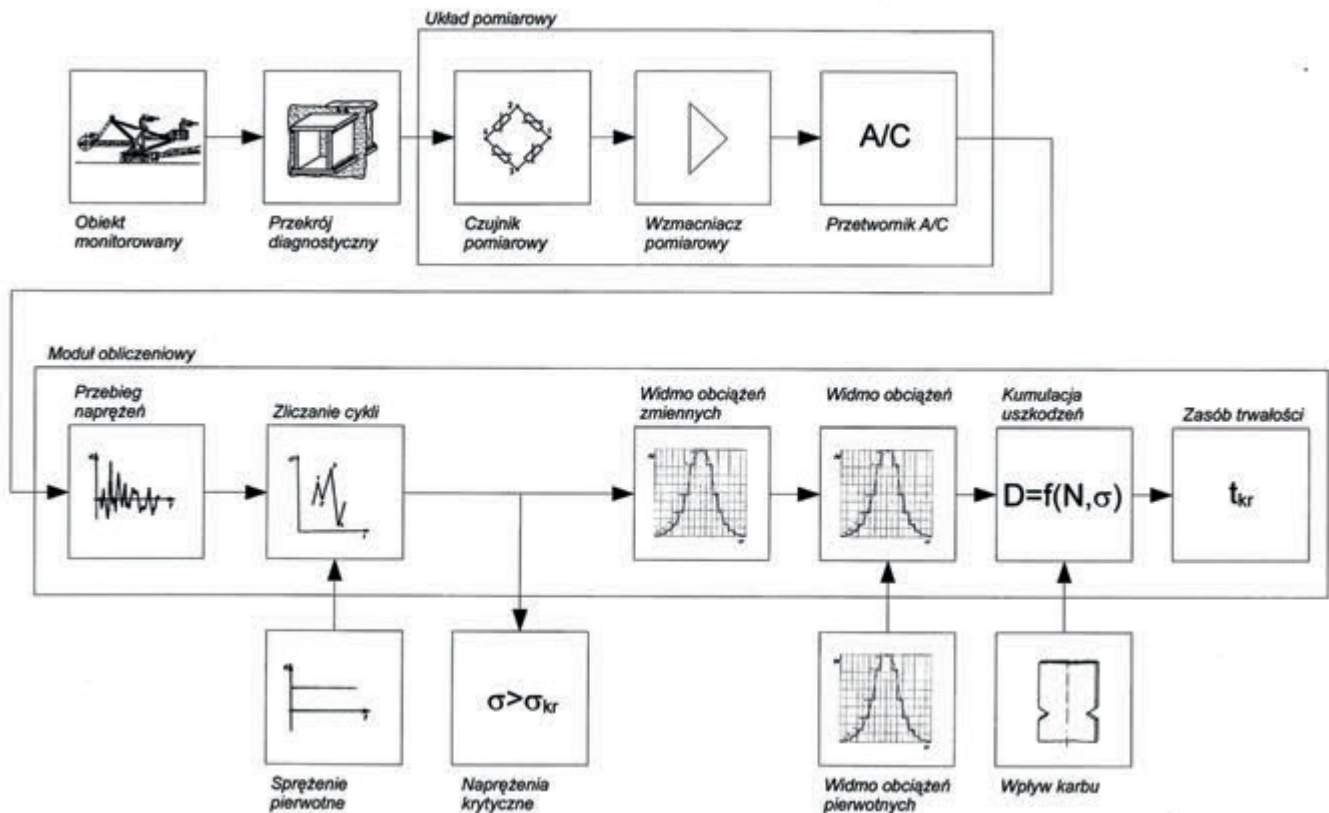
Sygnal z układów pomiarowych, po odpowiednim ich przygotowaniu (wzmocnienie, kalibrowanie, tarowanie), po przekształceniu na postać cyfrową wprowadzony jest do jednostki obliczeniowej. Zadaniem jednostki obliczeniowej jest przeniesienie wartości pomiarowych z punktów referencyjnych na punkty newralgiczne, sprawdzanie przekroczenia wartości naprężeń krytycznych, zliczanie cykli zmęczeniowych, monitorowanie wielkości sił zewnętrznych oraz wielkości obciążenia głównych napędów elektrycznych.

Zliczane cykle zmęczeniowe gromadzi się w tablicy widma obciążeń zmiennych. Przed wprowadzeniem do tablicy widma, obciążenia zmienne zostaną poddane korekcie o wartość naprężeń wstępnego sprężenia konstrukcji (naprężenia własne). Naprężenia od wstępnego sprężenia przewiduje się zmierzyć metodą wierconego otworka lub odciążenia zespołów konstrukcji. Wystąpienie naprężeń przekraczających wartości krytyczne będzie sprawdzane na bieżąco, bez gromadzenia w bazie danych systemu monitorowania. Przekroczenie naprężeń krytycznych będzie wyprowadzone z układu jako sygnał służący do sygnalizacji wystąpienia przeciążenia.

Dla maszyn już eksploatowanych szacując ich trwałość, do systemu należy wprowadzić tablicę widma obciążeń pierwotnych. Widmo pierwotne uzyskuje się przez określenie czasu dotychczasowej eksploatacji maszyny i na bieżąco odnosi się go do prognozowanego czasu powrotu obciążeń. Na tej podstawie system buduje dynamiczną tablicę widma pierwotnego.

Po zsumowaniu widma obciążeń zmiennych i obciążeń pierwotnych, na podstawie hipotezy kumulacji uszkodzeń, po uwzględnieniu rodzaju karbu i właściwości materiałowych (krzywa Wöhlera), wyznaczany jest stopień zużycia konstrukcji. Na podstawie tej trwałości oraz widma czasu powrotu obciążeń oszacowany jest zasób trwałości konstrukcji (trwałość resztkowa).

Konstrukcja nośna ma za zadanie przekazywanie obciążeń w miejsca podparcia. Utrata zdolności do realizacji tego zadania jest równoznaczna z wyczerpaniem jej zasobu trwałości i wejściem w stan uniemożliwiający jej normalną eksploatację. Wyczerpanie zasobu konstrukcji jest związane z jej eksploatacją. W ogólnych przypadkach wyczerpanie zasobu konstrukcji może nastąpić na skutek jej nadmiernego odkształcenia lub wyczerpania nośności. Nadmierne odkształcenia związane są z wystąpieniem niedopuszczalnych ugięć, przemień (ugięć poziomych) i drgań elementów konstrukcji. Wyczerpanie nośności wiąże się z osiągnięciem wyężenia krytycznego bądź zmęczeniem materiału elementów konstrukcji lub utratą stateczności bądź przekształceniem się konstrukcji w układ geometrycznie zmienny. Dla prawidłowo zaprojektowanej konstrukcji w normalnym stanie jej elementów, nie powinno dochodzić do wyczerpania jej zasobu w wyniku nadmiernych odkształceń. Może do tego dojść w wyniku utraty nośności przez jej elementy. Konstrukcja nośna, przed wystąpieniem nadmiernych ugięć i odkształceń jest zabezpieczona na etapie projektowania przez odpowiedni dobór struktury konstrukcji, zastosowanych profili i doboru materiału. Dlatego zachodzenie tego typu zjawisk w czasie eksploatacji będzie związane z degradacją elementów konstrukcji lub ich połączeń lub wy-



Rys. 2. Schemat ideowy systemu monitorowania wyężenia ustroju nośnego
 Fig. 2. The ideogram of the load bearing structure monitoring system

stąpieniem obciążeń ponadnormatywnych (pomimo działania zabezpieczeń przed przeciążeniem). Podobnie jest w przypadku drgań konstrukcji. Są one wynikiem rezonansu konstrukcji z obciążeniami cyklicznie zmiennymi. Dlatego na etapie projektowania przeprowadza się odpowiednią analizę drgań własnych. Zmiana drgań własnych konstrukcji jest skutkiem zmiany jej sztywności lub masy jej zespołów lub elementów. Wystąpienie tego typu zjawiska będzie również związane z degradacją elementów konstrukcji lub ich połączeń. Nie dotyczy to zmian modernizacyjnych, które mogą zakłócić dotychczasową strukturę lub sztywność konstrukcji i wymagają przeprowadzenia ponownych obliczeń wytrzymałościowych. Projektując konstrukcję korzysta się z dostępnych metod obliczeniowych, określonych w normach i opracowaniach oraz narzędzi wspomagających obliczenia. Choć metody te są udoskonalane, zmierzając do jak najbardziej dokładnego odzwierciedlenia rzeczywistości, nie określają precyzyjnie wpływu obciążeń na elementy konstrukcyjne oraz możliwość wzajemnego wzbudzenia zespołów konstrukcji. Wynika to z obecnego stanu wiedzy, dostępnych narzędzi obliczeniowych i stosowanych różnego rodzaju uproszczeń i przybliżeń. Ponadto na etapie projektowania brak jest precyzyjnych informacji o występowaniu ponadnormatywnych obciążeń w czasie eksploatacji oraz intensywności procesu eksploatacji. Z tego powodu nie jest możliwe dokładne oszacowanie wyężenia i trwałości zmęczeniowej konstrukcji na etapie projektowania.

W przypadku konstrukcji nośnej utrata stateczności związana jest z utratą zdolności przenoszenia obciążeń zewnętrznych przez podparcie. Zdarzenie takie może mieć miejsce w przypadku wystąpienia nienormalnych dla pracy konstrukcji obciążeń (w szczególnych typach podparcia przez wyjście środka ciężkości poza krawędź wywrotu). Zdarzenie takie może mieć miejsce

również w przypadku degradacji elementów konstrukcyjnych, czy połączeń w punktach wsparcia lub w ich okolicach lub wystąpieniu ponadnormatywnych obciążeń zewnętrznych.

Przekształcenie się konstrukcji w układ geometrycznie zmienny jest wynikiem zmiany jej struktury. Może to nastąpić w przypadku zniszczenia niektórych elementów konstrukcyjnych w wyniku degradacji samych elementów lub ich połączeń.

Jak przedstawiono powyżej wyczerpanie zasobu konstrukcji jest w większości skutkiem degradacji elementów konstrukcyjnych lub ich połączeń. Może ono wynikać z pogarszania się stanu technicznego poszczególnych elementów, zachodzących w nich procesów zmęczeniowych lub przekroczeniem naprężeń krytycznych. Powyższe procesy będą skutkowały zmianą nośności wytrzymałościowej elementów. Dlatego najważniejszym wydaje się monitorowanie naprężeń.

Idealne byłoby monitorowanie naprężeń wszystkich elementów konstrukcji. Z uwagi na złożoność konstrukcji (wiele elementów) wymagane byłoby zainstalowanie bardzo dużej liczby modułów pomiarowo przetwarzających. Tak rozbudowany system byłby drogi i utrudniałby interpretację i analizę gromadzonych danych. Mogłby być niewydolny, energochłonny, skomplikowany, podatny na awarie i drogi. W związku z tym wydaje się celowe ograniczenie ilości modułów pomiarowo przetwarzających do ich optymalnej ilości. Dlatego zaproponowano koncepcję punktów monitorowania, na podstawie których określany byłby stan całej konstrukcji. Takie podejście wymusza opracowanie metody doboru punktów monitorowania. Metoda ta będzie stanowić procedurę wskazania miejsc szczególnie ważnych dla trwałości wytrzymałościowej konstrukcji, na podstawie których w procesie monitorowania można wnioskować o trwałości całej konstrukcji.

Jak można łatwo przypuszczać, miejsca monitorowania mogą zostać wytypowane w obszarach o utrudnionym dostępie, narażonych na uszkodzenia czujników pomiarowych lub będą to miejsca np. działania karbu, gdzie nie będzie istniała możliwość instalacji czujników systemu pomiarowego. W związku z tym zaproponowano instalację czujników pomiarowych w miejscach diagnostycznych, w których ich instalacja jest łatwiejsza, a czujniki są mniej narażone na uszkodzenia i istnieje możliwość interpolacji ich wskazań do punktów monitorowania. W związku z takim podejściem dodatkowo należy opracować metodę doboru miejsc diagnostycznych, tak aby na ich podstawie możliwe było najbardziej wierne odwzorowanie naprężeń w punktach monitorowania oraz opracować odpowiednią metodę interpolacji.

Zadaniem układu pomiarowego jest zbieranie informacji o występującej zmianie naprężeń w punktach diagnostycznych, wstępne ich przygotowanie i zamianę na postać cyfrową umożliwiającą ich dalsze przetwarzanie. Układ pomiarowy stanowią czujniki pomiarowe, urządzenia wzmacniające i przesyłające sygnały pomiarowe oraz układy cyfryzacji tych sygnałów. Układ pomiarowy przeznaczony jest do zabudowy na konstrukcji nośnej koparek kołowych pracujących w polskich kopalniach węgla brunatnego. Z uwagi na trudne warunki środowiska pracy, wymagane jest aby czujniki oraz pozostałe elementy układu pomiarowego były odporne lub zabezpieczone na uszkodzenia mechaniczne. Z uwagi na silne pola elektromagnetyczne pochodzące od napędów elektrycznych dużej mocy układ ten powinien wykazywać odporność na zakłócenia elektroenergetyczne. Kolejnym czynnikiem wpływającym na pracę układu jest możliwość wystąpienia przerw w pracy. Spowodowane one mogą być przerwami w dopływie energii lub postojami remontowymi. Z uwagi na to układ pomiarowy powinien być odporny na przerwy w zasilaniu i mieć możliwość samoczynnej kalibracji po przywróceniu zasilania. W trakcie użytkowania systemu może dojść do uszkodzeń lub awarii jego elementów (czujników, wzmacniaczy pomiarowych, przetworników itd.) w związku z tym powinna też być opracowana metoda wymiany i naprawy elementów systemu pomiarowego. Aby dokonać wyboru urządzeń pomiarowych należy znać zakresy mierzonych sygnałów oraz wymaganą dokładność mierzonych naprężeń. Ponadto ważny jest też zakres częstotliwości pracy jaki powinien posiadać układ pomiarowy. Zależy ona od tłumienia przez konstrukcję zmian przenoszonych naprężeń i ich istotności dla zmęczenia materiału monitorowanej konstrukcji. Ważna jest też ilość punktów pomiarowych. Zależy ona od ilości przyjętych punktów diagnostycznych oraz konfiguracji czujników pomiarowych w punktach diagnostycznych. Na podstawie ilości punktów pomiarowych i ich rozmieszczenia na konstrukcji należy dobrać system transmisji sygnałów oraz system wzmacniaczy pomiarowych. System wzmacniaczy pomiarowych ma zapewnić dostosowanie sygnału do przetworników analogowo cyfrowych, za pomocą których zmierzone wielkości zostaną przekazane do modułu obliczeniowego. Dobór przetworników analogowo-cyfrowych należy uzależnić od przyjętego rozwiązania modułu obliczeniowego oraz wymaganej dokładności obliczeniowej.

Zadaniem modułu obliczeniowego jest przetwarzanie sygnałów pomiarowych pochodzących z systemu pomiarowego, gromadzenie danych pomiarowych (w tablicach przejścia) oraz przygotowanie wartości wynikowych. W ramach oprogramowania podstawowego należy przewidzieć system uru-

chomieniowy (operacyjny) modułu. Zadaniem tego systemu będzie uruchamianie startowe i po przywróceniu zasilania oraz rozruch oprogramowania obliczeniowego i innego niezbędnego do zarządzania systemem monitorowania. Oprogramowanie obliczeniowe będą stanowić programy przetwarzające dane pomiarowe.

Konstrukcja nośna, po zmontowaniu poddana jest oddziaływaniu sił do mas własnych jej elementów oraz od mas urządzeń zainstalowanych na niej. Ponadto w elementach konstrukcji występują naprężenia powstałe w procesie montażu konstrukcji. Są to naprężenia statyczne stale działające i są to naprężenia wstępnego sprzężenia konstrukcji. Są też wartością średnią naprężeń w elementach konstrukcji. W toku procesu projektowania możliwe są do oszacowania tylko naprężenia wywołane masami własnymi konstrukcji i urządzeń. Naprężenia montażowe stanowią niewiadomą, ponieważ wielkość ich wystąpienia jest praktycznie niemożliwa do oszacowania, zależy od dokładności wykonania i montażu. Można przypuszczać, że są one dużo mniejsze od obciążeń od mas własnych. Natomiast naprężenia od mas własnych mogą stanowić główną (podstawową, istotną) wartość naprężeń. Do wyznaczenia wartości tych naprężeń można zastosować jedną z trzech metod wyznaczania naprężeń stałych. Pierwsza z nich to metoda polegająca na całkowitym odciążeniu konstrukcji, druga na odprężeniu warstwy powierzchniowej (metoda wierzonego otworka), trzecia to wyliczenie teoretyczne lub wykorzystanie obliczeń projektowych.

W przypadku instalacji systemu monitorowania na maszynach już eksploatowanych występuje brak wiedzy o procesie obciążenia konstrukcji w dotychczasowym czasie. Wynika z tego konieczność przyjęcia metody szacowania obciążenia pierwotnego. Do oszacowania stanu początkowego proponuje się zastosowanie jednej z dwóch metod. Pierwsza z nich polega na wstępnym jednorazowym pomiarze obciążeń eksploatacyjnych i na jego podstawie oszacowanie widma obciążeń pierwotnych dla dotychczasowego okresu eksploatacji. W wyniku otrzymujemy widmo statyczne. Druga metoda, zamiast z pomiaru wstępnego, korzysta z danych zgromadzonych w widmie obciążeń zmiennych i w wyniku wyznacza dynamiczne widmo obciążeń pierwotnych.

Do obliczenia trwałości zmęczeniowej korzysta się z hipotezy kumulacji uszkodzeń. Polega ona na wyznaczeniu liczby cykli do wystąpienia pęknięcia zmęczeniowego. Wykonuje się to na podstawie widma obciążeń, wielkości karbu oraz odporności materiału na zmęczenie. Wymaga to wdrożenia odpowiedniej metody obliczeń. Do realizacji tego zadania można zastosować jedną z trzech hipotez kumulacji uszkodzeń: Palmgren-Minera, Serensena lub Haibacha.

Zmiany naprężeń w elementach konstrukcji od obciążeń eksploatacyjnych są złożonymi przebiegami losowymi. Ocena ich oparta jest na statycznej teorii procesów losowych, a ich analiza oparta jest na ustaleniu widma naprężeń. Naprężenia eksploatacyjne przeważnie mają charakter obciążeń o szerokim widmie procesów losowych. W takim przypadku rozkład naprężeń otrzymuje się na podstawie zliczania przejść między wartościami szczytowymi minimum i maksimum. Jedno takie przejście jest jednym cyklem zmian. Dla uproszczenia zakres naprężeń dzieli się na przedziały klasowe. Zliczając cykle zmian w poszczególnych przedziałach klasowych można wyznaczyć histogram częstości występowania ich wartości. Na podstawie tego histogramu wyznacza się widmo obciążeń zmiennych.

Istnieje kilka sposobów opracowania przebiegów naprężeń zmiennych. Są to między innymi sposób obwiedni, par rozpiętości, pełnych cykli, zliczania ekstremów lokalnych, przecięć poziomu. Dla uzyskanych wartości pomiarowych, dobrano odpowiednią metodę zliczania cykli oraz metodę wyznaczenia widma obciążeń zmiennych i do opracowania algorytmów dla modułu obliczeniowego.

PODSUMOWANIE

Opisane powyżej zagadnienia są częścią kompleksowego podejścia do kwestii jaką jest praca wielonaczyniowych koparek kołowych w utworach z wtrąceniami nieurabialnymi. Projekt

BEWEXMIN ma na celu opracowanie narzędzi umożliwiających zabezpieczenie konstrukcji koparki przed skutkami udarów wynikających z kontaktu koła czerpakowego z nieurabialną przeszkodą poprzez wykrywanie wtrąceń nieurabialnych, zmniejszenie energii udarów wynikające z optymalizacji napędu koła czerpakowego i opracowanie metod uwzględniających ponadnormatywne obciążenia w obliczeniach wytrzymałościowych oraz monitorowanie stanu konstrukcji i ocenę jej zasobu trwałości w czasie rzeczywistym.

Praca naukowa finansowana ze środków finansowych na naukę w latach 2015-2018 przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego.

Literatura

- [1] M. Galetakis, T. Michalakopoulos, A. Bajcar, C. Roumpos, M. Lazar i P. Svoboda, „*Project BEWEXMIN: Bucket wheel excavators operating under difficult mining conditions including unmineable inclusions and geological structures with excessive mining resistance*,” w *13th International Symposium Continuous Surface Mining*, Belgrad, 2016
- [2] J. Alenowicz i R. Rosik, „*Wymagania stawiane ustrojom nośnym koparek wielonaczyniowych kołowych eksploatowanych w utworach trudno urabialnych*,” *Górnictwo Odkrywkowe*, nr 6, 2016
- [3] S. Szepietowski, „*Theoretical model of impulse load*,” „*Poltegor-Instytut*” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Praca niepublikowana, 2015
- [4] A. Bajcar i J. Alenowicz, „*Metody ograniczenia awaryjności koparek wielonaczyniowych kołowych eksploatowanych w gruntach trudno urabialnych*,” w *IX Międzynarodowy Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego*, Bełchatów, 2016
- [5] J. Alenowicz, M. Onichimiuk i M. Wygoda, „*Obciążenia ekstremalne w procesie projektowania i eksploatacji koparek kołowych przeznaczonych do pracy w gruntach trudno urabialnych kopalń odkrywkowych węgla brunatnego*,” *Górnictwo i Geoinżynieria*, tom 2, nr 33, 2009
- [6] M. Řehoř i V. Moni, „*Hodnoceni vyskytu obtížně těžitelnych struktur na lomu Libouš v rámci řešení projektu BEWEXMIN*,” w *Problemy provozu, údržby a oprav strojního zařízení, používaného při povrchovém dobývání*, 2016



Tajemnica światła

Fot. Renata S-K