

BUDOWA MODELU DIAGNOZOWANIA STANÓW AWARYJNYCH ORGANÓW ROBOCZYCH KOPARKI WIELOCZERPAKOWEJ

CONSTRUCTION OF DIAGNOSTIC MODELS OF THE STATES OF DEVELOPING FAULT FOR WORKING PARTS OF THE MULTI-BUCKET EXCAVATOR

Przedstawiony w pracy sposób tworzenia modelu (diagnozera) układu napędowego koparki wieloczerpakowej kołowej stosowanej w górnictwie węgla brunatnego pozwala opracować skuteczny sposób diagnozowania stanów rozwijającej się awarii. Aby opracować taki model, niezbędne było przeprowadzenie pomiarów obciążeń w celu określenia dystrybuanty momentu urabiającego. Zastosowano metody probabilistyczne do oceny stanu wszczęcia procesu działaniowego zabezpieczającego przed wystąpieniem awarii.

Słowa kluczowe: dynamika układów napędowych, monitorowanie, zabezpieczenia przeciążeniowe.

The way of constructing a power transmission model (diagnoser) of the multi-scoop wheel excavator used in brown coal mining, presented in the study, helps prepare an effective method of diagnosing the states of developing fault. In order to develop such model/diagnoser it was necessary to measure the loads to determine the distribution function of the mining moment. The probability methods were used for determining the state of initiating activities to protect against fault.

Keywords: overload protection, diagnoser, power transmission systems.

1. Wprowadzenie

Układ napędowy mechanizmu urabiania koparki wielonaczyniowej kołowej [4] należy do najbardziej dynamicznie obciążonych zespołów maszyny. Wartości ekstremalne obciążeń wymiarują elementy konstrukcyjne niskoobrotowe w tym szczególnie elementy połączenia przekładni z kołem czerpakowym. Zależą one od warunków pracy maszyny i w przypadku utworów trudnourabialnych mogą być wielokrotnie wyższe od nominalnego momentu urabiania na kole czerpakowym. W publikacjach [6,7,9,10] podaje się, że wartość tego momentu może być nawet pięciokrotnością momentu nominalnego. Tak wysokie wartości momentu urabiania powodują wzrosty wartości naprężeń, które są szczególnie niebezpieczne powodując zmniejszenie trwałości zmęczeniowej lub uszkodzenie doraźne elementów układu napędowego oraz ustroju nośnego koparki [1,2]. W celu zabezpieczenia się przed skutkami takich przeciążeń proponuje się zastosowanie układu diagnostycznego, diagnozera. Układ ten rejestrując zmiany momentu urabiania z określonym prawdopodobieństwem przewiduje stany krytyczne i powoduje zadziałanie zabezpieczenia, np. odłączenie części układu napędowego. W celu zdefiniowania układu diagnostycznego należy przeprowadzić pomiary ciągłe zmian momentu urabiania w celu wyznaczenia dystrybuanty obciążeń, zbudować model (diagnozer) układu napędowego oraz ocenić prawidłowość funkcjonowania systemu zabezpieczającego.

1. Introduction

The power transmission system of the mining mechanism of the multi-scoop wheel excavator [4] belongs to the machine parts with the greatest dynamic load. The extreme load values influence the dimensions of the low speed construction elements, in particular the elements of the transmission connection with the scoop wheel. They depend on the conditions in which the machine works and in the case of hard formations they may be several times higher than the nominal mining moment of the scoop wheel. The literature [6,7,9,10] says that this moment may be even five times higher than the nominal one. Such high values of the mining moment increase the stress which is particularly dangerous leading to decrease in fatigue life or short-term damage of the power transmission elements and the carrying structure of the excavator [1,2]. In order to protect the machine against such overloading it is suggested to use a diagnoser. This system, by recording changes in the mining moment, is able to predict, with a specific probability, critical states and triggers off the protection measure, e.g. by switching off parts of the power transmission system. To define the diagnostic system it is necessary to carry out continuous measurements of the mining moment and define the load distribution function, to construct a model (diagnoser) of the power transmission system and assess the correctness of the protection system work.

2. Pomiary obciążeń elementów układu napędowego

Wskazanie wartości ekstremalnej obciążeń elementów mechanizmu urabiania jest utrudnione ze względu na różnorodność w budowie układów napędowych i warunków urabiania koparek. Potrzeba ich optymalnego doboru występuje np. w przypadku modernizacji układu napędowego [8]. Pozyskanie informacji o obciążeniach ekstremalnych w miejscu dokonywania przebudowy może odbywać poprzez:

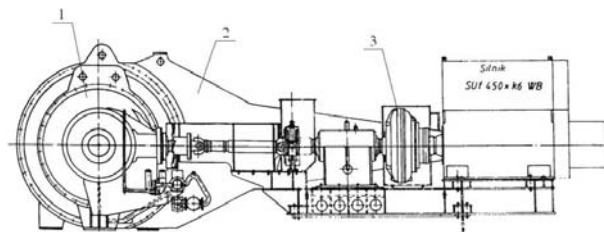
1. pomiar na elemencie konstrukcyjnym w miejscu dokonywania przebudowy,
2. pomiar na dostępnym członie mechanizmu poza miejscem dokonywania przebudowy i obliczanie z uwzględnieniem przełożeń pomiędzy stopniami [6],
3. zastosowanie diagnosty układu napędowego, którego stan modelowy jest dostrajany poprzez pomiar na obiekcie w dostępnych miejscach [5,6],
4. prowadzenie symulacji numerycznych na modelu układu napędowego [6,7].

Pomiary obciążeń przeprowadzono na koparce typu KWK 1200 (rys. 1.) eksploatowanej w Kopalni Węgla Brunatnego Turów. W układzie napędowym tej koparki (rys. 2) nie ma zabezpieczeń ograniczających przyrosty dynamiczne obciążeń podczas uderzeń. Pomiary obciążeń ekstremalnych, np. podczas uderzenia czerpaka o kamień, wykonano według metody 1 i 2. W pierwszym przypadku układ pomiarowy zamontowano bezpośrednio na wale koła czerpakowego, pomiędzy kołem a przekładnią, jak pokazano na rys. 3. Przykładowy przebieg momentu skręcającego podczas urabiania nadkładu z licznymi wtrąceniami kamieni pokazano na rys. 4. Na wykresie widoczne są przyrosty obciążenia spowodowane zderzeniami skutkującymi zatrzymaniem mechanizmu urabiania. Nadwyżki dynamiczne momentu skręcającego na wale koła czerpakowego w przypadkach kolizji skutkującymi wyłączeniem układu napędowego dochodziły do sześciokrotności momentu nominalnego. W drugim przypadku układ pomiarowy zamontowano na dźwigni momentowej, a dokładnie na łączniku tej dźwigni z konstrukcją wysięgnika koła czerpakowego (rys. 5). W tym przypadku pokazano przebieg momentu skręcającego podczas urabiania węgla (rys. 6). Obciążenia pokazane tutaj są znacznie niższe i nie przekraczają nawet połowy maksymalnego momentu dopuszczalnego dla tego układu.



Rys. 1. Koparka KWK 1200, KWB Turów

Fig. 1. Excavator KWK 1200, Brown Coal Mine Turów



Rys.2. Układ napędowy: 1 – przekładnia główna, 2 – dźwignia momentowa, 3 – sprzęgło

Fig. 2. Power transmission system: 1 – main transmission, 2 – moment lever, 3 – clutch

2. Measurements of the power transmission elements' load

It is difficult to determine the extreme load value for elements of the mining mechanism due to the differences in the transmission systems' construction and conditions in which excavators work. It is necessary to choose an optimum one e.g. while modernising a power transmission system [8]. The information on extreme loads in the place of modernisation may be acquired by:

1. measurement at the construction element at the point of modernisation;
2. measurement at the construction element accessible, other than the point of modernisation, calculated taking into consideration the shift between the stages [6];
3. using a diagnoser of the power transmission system, the model state of which is adjusted by measurements at the accessible places on the site [5, 6];
4. carrying out numerical simulations on the power transmission model [6,7].

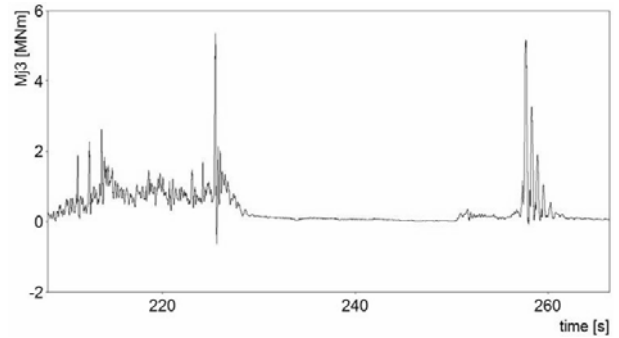
The loads were measured for excavator KWK 1200 (fig. 1) used in the Brown Coal Mine Turów. The power transmission system of this excavator (fig. 2) has no protections limiting the dynamic increases of loads during surges. The measurements of extreme loads, e.g. when a scoop hits rock were carried out using methods 1 and 2. In the first case the measurement system was installed directly on the shaft of the scoop wheel, between the wheel and transmission, as indicated in fig. 3. The example of the torque while mining an overlayer with numerous rock intrusions is presented in fig. 4. The diagram shows increases of load connected with collisions stopping the mining mechanism.

The dynamic surplus of torque at the scoop wheel shaft in the case of collision switching off the power transmission system reached the six-fold value of the nominal moment. In the second case the measurement system was installed at the moment lever, and more exactly at the joint of this lever with the structure of the scoop wheel arm (fig. 5). In this case the torque while coal mining was shown (fig. 6). These loads are much smaller and do not exceed even one half of the maximum permissible moment for this system.



Rys. 3. Przygotowanie układu pomiarowego i widok układu tensometrycznego do pomiaru momentu skręcającego na wale koła czerpakowego

Fig. 3. Preparing a measurement system and the strain gauge set for measuring the torque at the scoop wheel shaft



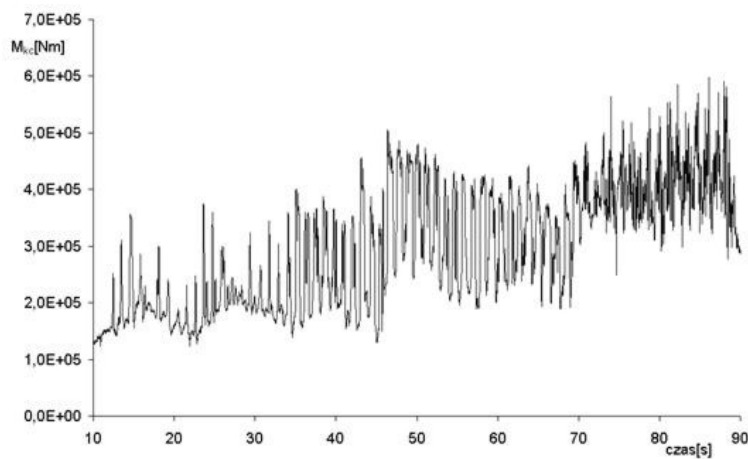
Rys. 4. Fragment przebiegu momentu skręcającego wal koła czerpakowego podczas urabiania nadkładu z licznymi wtrąceniami nieurabialnymi

Fig. 4 Part of the torque applied to the scoop wheel shaft while mining an overlayer with numerous non-mining intrusions



Rys. 5. Lokalizacja czujnika tensometrycznego na łączniku dźwigni momentowej

Fig. 5. Localisation of a strain gauge at the joint of the momentum lever



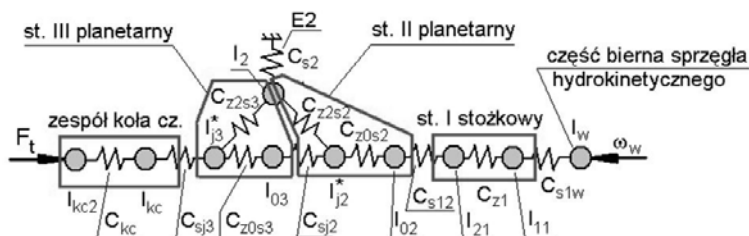
Rys. 6. Fragment zarejestrowanego przebiegu momentu na dźwigni momentowej podczas urabiania pokładu węgla

Fig. 6. Part of the torque recorded at the moment lever while mining a coal layer

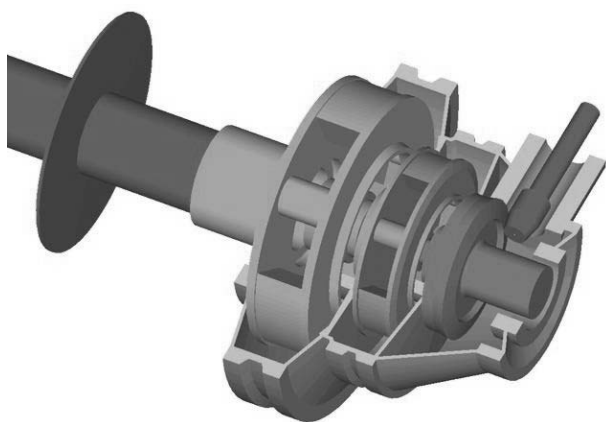
3. Model układu napędowego do diagnozowania stanów przekrytycznych

W celu przeprowadzenia symulacji numerycznych lub do diagnozowania stanu układu napędowego budowany jest model (diagnozer). Elementy mechanizmu urabiania modelowane są elementami sprężystymi i masowymi. Model ten jest uproszczony do niezbędnego minimum, z uwagi na krótki czas w dyspozycji – od chwili wejścia w stan zagrożenia do chwili, po której nie jest możliwe zrealizowanie skutecznego procesu działaniowego z wykorzystaniem istniejącego układu wykonawczego. Przykładowy model (diagnozer) pokazano na rys. 7. Sztywności i momenty bezwładności tego modelu wyznaczone zostały m.in. z użyciem modeli 3D elementów układu napędowego (rys. 8). Jego stan modelowy dostrajany jest cyklicznie do stanu diagnozowanego układu i służy do diagnozowania stanów zagrożenia. Może być też wykorzystywany do wyznaczania wartości ekstremalnych obciążeń w układzie napędowym i ustroju nośnym.

Stałe w modelu ostatecznie dobierane są na podstawie wyników badań na obiekcie. Realizuje się to podczas procedury skalowania, tj. w trakcie jednej z prób przeprowadzonych na maszynie po zadaniu skoku jednostkowego obciążenia [1,3] przy narożu czerpaka (gwałtowne odciążenie napędu) przy zahamowanym układzie napędowym. Wyznaczone częstotliwości drgań własnych powinny być zgodne z częstotliwościami w modelu. Na przebiegu (rys. 9) widoczne są odcinki pomiędzy fragmentami sinusoid oznaczające kasowanie luzów w układzie. Dalszą weryfikację modelu można dokonać na podstawie wyników badań na maszynie podczas pracy (rys. 3 i 4). Dotychczasowe wyniki badań na obiekcie fizycznym i symulacji numerycznych wskazują bardzo istotne znaczenie podatności wysięgnika koła czerpakowego w szacowaniu wartości ekstremalnej obciążeń.



Rys. 7. Model – diagnozer układu napędowego koła czerpakowego
Fig. 7. Model/diagnoser of the scoop wheel transmission system

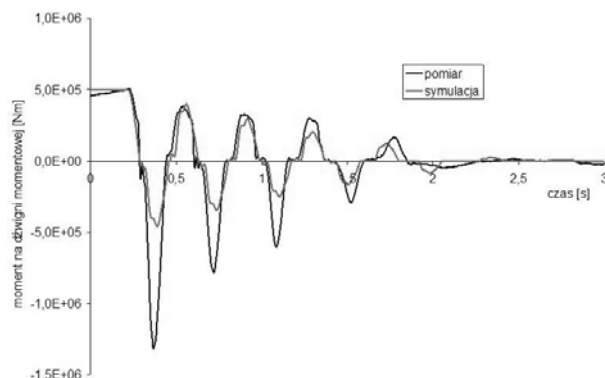


Rys. 8. Model 3D elementów układu napędowego koła czerpakowego
Fig. 8. 3D model of elements of the scoop wheel transmission system

3. Power transmission model for diagnosing pre-critical states

In order to carry out numerical simulations or diagnose the condition of the power transmission system a model (diagnoser) is constructed. Elements of the mining mechanism are modelled with elastic and solid parts. This model is simplified due to shortage of time – between the start of the threatening situation and the time when it is impossible to implement any action using the existing system. An example of the model (diagnoser) is presented in fig. 7. The stiffness and moment of inertia of this model were determined using among others 3D models of power transmission elements (fig. 8). Its model state is adjusted regularly to the state of the diagnosed system and is used for diagnosing fault threats. It can also be used for determining extreme values of loads in the power transmission system and the carrying structure.

The constant values for a model are ultimately chosen basing on the measurements on the machine. It is obtained in the course of a calibration procedure, that is one of tests on the machine after setting a range of a unit load [1,3] at the corner of the scoop (sudden relief of the power transmission system) with a stopped power transmission system. The determined frequencies of free vibrations should correspond to the frequencies in the model. The diagram (fig. 9) shows sections between the sinusoid fragments which indicate the process of alleviating backlash in the system. A model may be further verified basing on the results of measurements carried out on a working machine (fig. 3 and 4). The results of the test carried out so far on the physical object and numerical simulations indicate importance of the scoop wheel arm susceptibility in the process of determining the maximum load values.



Rys. 9. Porównanie przebiegów momentu na dźwigni momentowej uzyskanych w wyniku pomiaru na obiekcie i przeprowadzenia symulacji

Fig. 9. Comparison of torque at the moment lever obtained while measuring on the site and simulating

4. Analiza obciążeń – kryteria oceny metody diagnostycznej

W sytuacji gdy czas wzrostu awarii nie wystarcza do przeprowadzenia wystarczająco krótkiego procesu diagnozowania i odparowania awarii szansą na ocenę sytuacji technicznej można upatrywać w symptomach poprzedzających stan zagrożenia. Dotychczasowe doświadczenia w obrębie koparek kołowych wskazują, że udary wywołane uderzeniem naczynia koła czerpakowego w przeszkodę trudnourabialną często poprzedzone są jednym lub kilkoma słabszymi udarami (rys. 4). Najprostszą w realizacji diagnozę może dokonać poprzez porównanie wyniku pomiaru obciążenia mechanizmu urabiania. Każdemu pomiarowi przypisywane byłoby zdarzenie osiągnięcia jednego z trzech wytypowanych przedziałów obciążeń (naprężeń): 1 – dopuszczalnego, 2 – granicznego, 3 – krytycznego (awaryjnego). Przedział 3 odcięty jest od dołu wartością krytyczna obciążeń w_{kr} , której ze względów na wytrzymałość lub trwałość elementów konstrukcyjnych należy bezwzględnie unikać. Ze względu na losowość symptomu diagnostycznego wartość graniczna w_{gr} wyznaczana byłaby okresowo dla danych warunków urabiania i stanowiłaby kompromis pomiędzy wykrywalnością udarów, a możliwym spadkiem wydajności maszyny.

Do oceny metody i doboru w_{gr} zestawiane byłyby zdarzenia w odstępie równym czasowi pomiędzy wysypami. Oznaczenie w wprowadzono umownie w celu uniezależnienia się od rozpatrywanej wielkości (siła, moment siły, odkształcenie, naprężenie).

W założeniu metody diagnozowania okres kroku diagnostycznego t_k (rys. 4.2) równy jest okresowi wysypów T_w :

$$T_w = \frac{1}{f_w} \quad (1)$$

gdzie f_w oznacza częstotliwość wysypów zależną od prędkości obrotowej koła czerpakowego i liczby czerpaków.

Rozpatrując możliwość wykorzystania chwilowych wzrostów obciążenia poprzedzających udar awaryjny należy uwzględnić prawdopodobieństwo podjęcia właściwej decyzji. W metodzie diagnozowania wskazano cztery możliwe sytuacje (rys. 11), które mogą zajść w trakcie pracy maszyny i im przyporządkowano następujące prawdopodobieństwa:

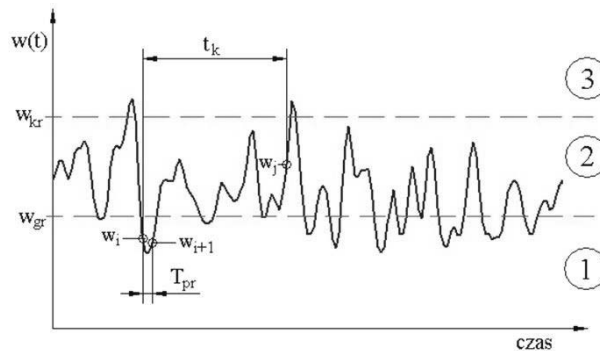
- PWA – prawdopodobieństwo wykrycia awarii,

4. Load analysis – evaluation criteria of the diagnostic method

When the time of the fault development is not sufficient for carrying out a short fault diagnosing and preventing process, the chance of evaluating the technical situation lies in the symptoms preceding the fault threat. The experience gathered so far with respect to wheel excavators indicates that the strokes connected with the scoop hitting a hard surface are frequently preceded with one or more less serious strokes (fig. 4). The simplest diagnostic method is comparison of the measurement results of the mining mechanism load. Each measurement would be ascribed one of the three scopes of load (stress): 1- permissible, 2 – border, 3 – critical (fault). Scope 3 is limited from below with a critical load value w_{kr} , which should be avoided

because of the durability or resistance of structural elements. Because of the random character of the diagnostic symptom, the border value w_{gr} would be determined on a regular basis for the specific mining conditions, and would be a compromise between the stroke detectability and possible fall of the machine efficiency.

To evaluate the method and choice of w_{gr} the events taking place in time equal to time between unloading would be used. The symbol w was used to get independent from the variable discussed (force, moment of force, distortion, stress).



Rys. 10. Przedziały obciążeń: 1 – dopuszczalny dla normalnej pracy, 2 – graniczny, 3 – krytyczny (awaryjny)

Fig. 10. Scopes of load: 1 – permissible for normal works, 2 – border, 3 – critical (fault)

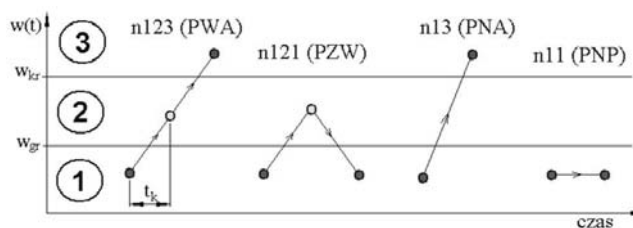
The diagnostic method assumes that the period of the diagnostic step t_k (fig. 4.2) is equal to the period of unloading T_w :

$$T_w = \frac{1}{f_w} \quad (1)$$

where f_w means the frequency of unloading dependent on the rotational speed of the scoop wheel and the number of scoops.

Considering the possibilities of using the temporary load increases preceding the fault stroke, it is necessary to provide for the probability of making a correct decision. For the diagnostic method four possible situations were indicated (fig. 11), that may occur during the machine operating, with the following probabilities:

- PWA – probability of fault detection,



Rys. 11. Aksjomat szacowania prawdopodobieństw

Fig. 11. Axiom of evaluating probability

- *PZW* – prawdopodobieństwo zbędnego wyłączenia maszyny lub zmiany parametrów urabiania, np. prędkości obrotu wysięgnika koła decydującej o grubości odcinanego wióra,
- *PNA* – prawdopodobieństwo niewykrycia awarii – przejście ze stanu 1 do stanu 3 bez wykrycia stanu z przedziału 2,
- *PNP* – prawdopodobieństwo normalnej pracy (w zakresie obciążeń dopuszczalnych) – pozostanie w przedziale 1.

Wystąpienie jednego z tych zdarzeń wyklucza pozostałe wytypowane, a inne możliwe zdarzenia nie są rozpatrywane z punktu metody diagnozowania, dlatego suma prawdopodobieństw jest równa jeden.

Jeśli poszczególne zdarzenia (obserwacje) są ciągiem losowych niezależnych wzajemnie i od czasu obserwacji, należących do zbiorowości opisanej dystrybuantą $F(w)$ i funkcją gęstości prawdopodobieństwa $g(w)$, która jest znana, wtedy prawdopodobieństwa osiągnięcia poszczególnych zakresów obciążeń w i przechodzenia między nimi możliwe są do obliczenia [5,6].

Kolejnym założeniem metody diagnozowania jest okresowe dostrajanie się diagnosty do aktualnych warunków urabiania. Nastawa diagnosty w_{gr} byłaby dobierana na podstawie stosunku (1) wyrażającego skuteczność wykrywania (prognozowania) stanów awaryjnych SM (skuteczność metody) i PZW będącego ujemnym skutkiem stosowania metody.

$$SM = \frac{PWA}{PWA + PNA} \quad (2)$$

Prawdopodobieństwa PWA , PNA , PZW i PNP szacowane byłyby na podstawie okresowo dokonywanych rozkładów statystycznych wyników pomiarów. Szukana w_{gr} dobierana byłaby wg następujących kryteriów:

$$\frac{PWA(w_{gr})}{PWA(w_{gr}) + PNA(w_{gr})} = SM(w_{gr}) \geq SM_{min} \quad (3)$$

oraz

$$PZW(w_{gr}) \leq PZW_{max} \quad (4)$$

Wartości SM_{min} i PZW_{max} dobierane byłyby przez eksploatatora. Pewną niedogodnością przedstawionego powyżej sposobu wyznaczania wartości granicznej obciążenia napędu czy naprężenia w wybranym miejscu struktury nośnej maszyny jest brak możliwości oszacowania prawdopodobieństw PWA i PNA w sytuacji, gdy w zbiorze wyników pomiarów nie zostanie przekroczona wartość krytyczna w_{kr} . Wówczas jedynym kryterium do wyznaczania w_{gr} pozostaje warunek (4).

Na rysunku 12 przedstawiono przykładowy rozkład prawdopodobieństw PWA , PNA , PZW i PNP w zależności od przyjętej wartości granicznej, przy czym posłużono się stosunkiem w_{gr}/w_{kr} . Do sporządzenia rozkładu posłużył przebieg momentu (rys. 13) na kole czerpakowym mierzony na łączniku dźwigni momentowej z konstrukcją nośną koparki.

Do wyznaczenia prawdopodobieństw przyjęto $w_{kr} = 5 \cdot 10^5$ Nm i $w_{min} = 0$. Próbką liczyła 30200 punktów, a $t_k = 1,12$ s co odpowiada częstotliwości wysypów. Dla analizowanego przebiegu skuteczność wczesnego wykrywania przekroczeń w_{kr} dla stosunku $w_{gr}/w_{kr} = 0,8$ sięga 50% przy $PZW = 0,02$ (rys. 14).

Rozkłady prawdopodobieństw wystąpienia przedziału obciążeń dopuszczalnych P1 i przejścia do przedziału obciążeń 1

- PZW – probability of unnecessary switch-off of the machine or change of the mining parameters, e.g. the speed of the wheel arm rotation determining the thickness of the chip cut,
- PNA – probability of a failure to detect a fault; change from the state 1 to state 3 without determining the state from scope 2,
- PNP – probability of a normal work (with respect to permissible loads), staying in scope 1.

Occurrence of one of these probabilities excludes the rest selected, and other possible situations are not taken into consideration from the method of diagnosing point of view, that is why the probabilities total sum equals one.

If particular events (observations) are a sequence of unrelated random values independent from the observation period, belonging to the set described with a distribution function $F(w)$ and a function of probability density $g(w)$ which is known, it is possible to calculate the probability of particular load scopes w and passage between them [5,6].

Another assumption of the diagnostic method is period adjustment of the diagnoser to the current mining conditions. The adjustment of the diagnoser w_{gr} would be chosen basing on the relation (1) expressing the effectiveness of detecting (prognosing) the faults SM (method effectiveness) and PZW being an adverse effect of applying the method.

$$SM = \frac{PWA}{PWA + PNA} \quad (2)$$

The probabilities marked as PWA , PNA , PZW and PNP would be evaluated basing on the periodic statistical distribution of measurement results, w_{gr} would be chosen according to the following criteria:

$$\frac{PWA(w_{gr})}{PWA(w_{gr}) + PNA(w_{gr})} = SM(w_{gr}) \geq SM_{min} \quad (3)$$

and

$$PZW(w_{gr}) \leq PZW_{max} \quad (4)$$

SM_{min} and PZW_{max} values would be chosen by the operator. A certain drawback of the abovementioned method of calculating the border value of the transmission system load or stress in a given place of the carrying structure of the machine is the inability to evaluate the probabilities PWA and PNA when the critical value w_{kr} is not exceeded in the measurement results. In such a situation the only criterion for determining w_{gr} is the condition (4).

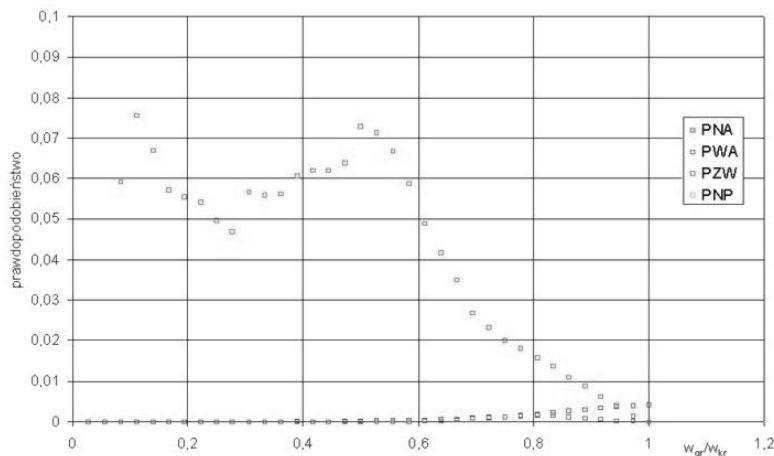
In figure 12 the example distribution of probabilities PWA , PNA , PZW and PNP is presented depending on the assumed border value, where the relation w_{gr}/w_{kr} was used. To prepare the distribution scheme the moment run (fig. 13) on the scoop wheel was used, as measured at the joint of the moment lever with the carrying structure of the excavator.

To calculate the probability the following values were assumed $w_{kr} = 5 \cdot 10^5$ Nm and $w_{min} = 0$. The sample consisted of 30200 points, and $t_k = 1.12$ s which corresponds to the frequency of unloading. For the analysed run the effectiveness of early w_{kr} exceeding detection for the relation $w_{gr}/w_{kr} = 0.8$ equals 50% where $PZW = 0.02$ (fig. 14).

The distribution of probabilities of the occurrence of the permissible loads P1 and passage to this scope presented in fig.

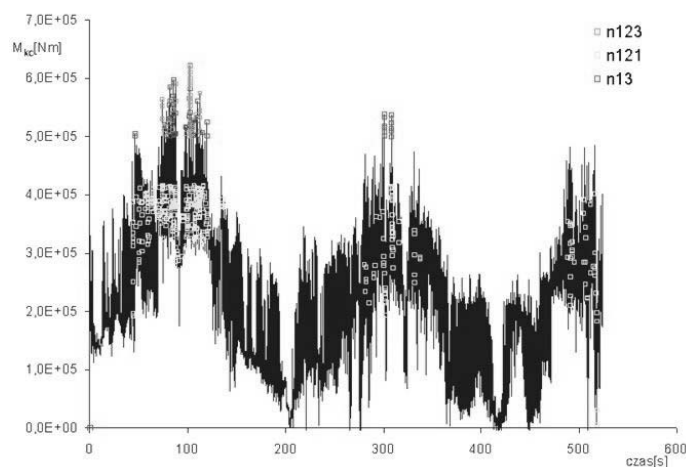
przedstawione na rys. 15 wyrażają charakter obwodowej siły kopania. Gdyby obciążenie układu napędowego podczas kopania miało charakter czysto losowy, wtedy rozkłady przedstawione na rys. 15 powinny się pokrywać. Tak jednak nie jest. Odchylenia rozkładów: P11 od P1 tak jak na rys. 15 nie tylko świadczą, o zależnościach sąsiednich zdarzeń osiągnięcia poszczególnych zakresów obciążeń, ale również wskazują, że parametry kryterialne metody PZW i SM (rys. 14) są korzystniejsze dla oceny metody niż dla przebiegów czysto losowych.

15 indicate the character of the circumferential digging force. If the transmission system load during digging was purely random, the distribution diagrams presented in fig. 15 should be identical. This is not, however, the case. The distortions between P11 and P1 distributions, as indicated in fig. 15, not only testify to the fact of neighbouring events reaching the specific load scopes, but also indicate that the critical parameters of PZW and SM method (fig. 14) are more advantageous for evaluating the method than for the purely random runs.



Rys. 12. Prawdopodobieństwa PWA, PNA, PZW i PNP w zależności od w_{gr}

Fig. 12. Probabilities PWA, PNA, PZW and PNP dependent on w_{gr}



Rys. 13. Analizowany przebieg momentu na dźwigni momentowej. Markerami zaznaczono punkty, w których zakończyła się identyfikacja wyróżnionych ciągów zdarzeń

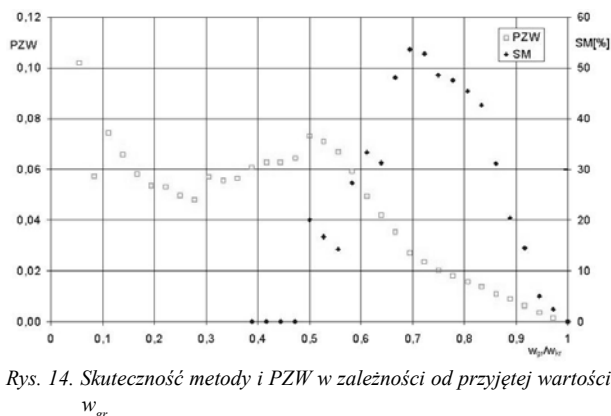
Fig. 13. The analysed run of the moment on the moment lever. The points where the identification of the separated sequences of events ended are marked with a marker

5. Podsumowanie

Pozyskiwanie wiedzy o obciążeniach układu napędowego koła czerpakowego może odbywać się przy użyciu metod doświadczalnych, numerycznych i ich kombinacji. Zaprezentowano metodę budowy modeli do diagnozowania stanów przedkrytycznych oraz metodykę oceny stanu zagrożenia i podjęcia czynności zapobiegawczych.

5. Conclusions

The knowledge on the power transmission loads of the scoop wheel may be acquired using empirical or numerical methods, or a combination of the two. The study presents methods of constructing models for diagnosing pre-critical states and the methodology of assessing the risk and undertaking preventive measures.



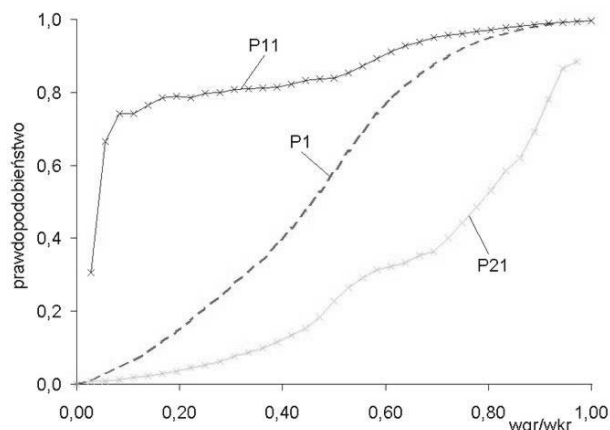
Rys. 14. Skuteczność metody i PZW w zależności od przyjętej wartości w_{gr}

Fig. 14. Effectiveness of the method and PZW depending on the assumed w_{gr} value

Zaprezentowana metodyka umożliwia oszacowanie parametrów SM i PZW do oceny metody diagnostycznej lub systemu bezpieczeństwa. Obciążenia mechanizmu urabiania mają charakter probabilistyczno-deterministyczny, a otrzymywane wartości kryterialne SM i PZW silnie zależą od amplitud i częstotliwości składowych harmonicznym przebiegów obciążeń.

6. References

1. Babiarczyk S., Dudek D. Kronika awarii i katastrof maszyn podstawowych w polskim górnictwie odkrywkowym, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
2. Bosnjak S., Zrnić N., Simonović A., Momčilović D. Failure analysis of the end eye connection of the bucket wheel excavator portal tie-rod support, Engineering Failure Analysis 2009; 16: 740-750.
3. Dudek D. Elementy dynamiki maszyn roboczych. OWPW, 1994.
4. Hawrylak H., Sobolski R. Maszyny podstawowe górnictwa odkrywkowego. Katowice 1967.
5. Kowalczyk M. Diagnozowanie bezpieczeństwa maszyn w stanach rozwijającej się awarii. Systems 2004.
6. Kowalczyk M. Metoda diagnozowania maszyn w stanach przeciążeń awaryjnych, Praca doktorska, IKiEM PWr., Preprint Nr 11/2005, Wrocław, 2005.
7. Rusiński E., Iluk A., Woronowicz M. Untersuchung der dynamischen Belastung des Schaufelradantriebs eines Baggers mit Hilfe von Simulationen. Braunkohle 1998; 1: 15-20.
8. Rusiński E., Kowalczyk M., Czmochoński J. Wybrane zagadnienia modernizacji połączenia wału koła czerpakowego z przekładnią planetarną, Górnictwo i Geoinżynieria. 2007; 31: 533-542.
9. Schlecht B. Effektive Überlastsicherung in Schaufelradantrieben.. Braunkohle 1998; 3: 389-394.
10. Wocka N. Dynamika procesu urabiania i jej wpływ na obciążalność elementów zespołu urabiania przy koparkach kołowych pracujących w utworach urabialnych. Węgiel Brunatny 2001; 3.



Rys. 15. Rozkłady prawdopodobieństw wystąpienia zakresu obciążeń dopuszczalnych P1 i przejścia do tego zakresu

Fig. 15. Distribution of probabilities of the occurrence of the permissible loads P1 and passage to this scope

The presented methodology makes it possible to evaluate SM and PZW parameters to evaluate the diagnostic method or the security system. The loads of the mining mechanism are probabilistic and deterministic in character, and the critical SM and PZW values obtained are strongly dependent on the amplitudes and the frequencies of the harmonic components of the loads.

Dr inż. Marcin KOWALCZYK
Dr hab. inż. Jerzy CZMOCHOWSKI
Prof. dr hab. inż. Eugeniusz RUSIŃSKI

Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
 Politechnika Wroclawska
 Wybrzeże Wyspiańskiego 27
 50-370 Wrocław, Polska
 e-mail: jerzy.czmochoowski@pwr.wroc.pl
 e-mail: marcin.kowalczyk@pwr.wroc.pl
 e-mail: eugeniusz.rusinski@pwr.wroc.pl