

INTERNATIONAL CONFERENCE: DYNAMICS OF MINING MACHINES
DYNAMACH '89

Grzegorz KAWKA

IT WSP Kraków

ZASTOSOWANIE METOD KOMPUTEROWYCH W OCENIE STANU
PROWADZENIA NACZYŃ GÓRNICZYCH URZĄDZEŃ WYCIĄGOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono algorytmy służące do widmowej analizy odchyłek przewodników i drgań naczynia wyciągowego. W dalszej części przytoczono zależności opisujące wartości sił poziomych działających w układzie naczynie - zbrojenie, na podstawie których opracowano algorytm służący do oceny stanu prowadzenia naczyni wyciągowych. Całość rozważań teoretycznych poparta została wynikami badań ruchowych prowadzonych w szybie 2A KWK "Makoszowy".

WSTĘP

Do oceny zużycia deformacyjnego zbrojenia szybowego od przeszło pięćdziesięciu lat wykorzystuje się wyniki pomiarów drgań naczyni wyciągowych w czasie ich pionowego ruchu w szybie. W przypadku układów prowadzenia naczyni wyciągowych procesy zużyciowe powiększają poziom drgań, który z kolei zwiększa intensywność zużycia. Wynika stąd wniosek, że zmiany procesów drganiowych w czasie eksploatacji mogą być pośrednią miarą oceniającą zaawansowanie procesów zużyciowych w badanym obiekcie.

Na wartości wielkości drganiowych (przemieszczenie, prędkość, przyspieszenie) mają również wpływ inne czynniki, takie jak np.: przemieszczanie się środka ciężkości naczynia na skutek nierównomiernego rozłożenia ładunku lub nierównomiernego rozkładu sił w urządzeniach wieloliniowych, moment odkrętu liny nośnej itd. Nie ma to jednak istotnego znaczenia, gdy się pamięta o tym, iż z punktu widzenia niezawodności i bezpieczeństwa omawianych układów powinno wyznaczać się maksymalne wartości sił poziomych w układzie naczynie - zbrojenie szybowe w trakcie jego ruchu pionowego w szybie.

Poddając analizie komputerowej odchyłki przewodników i drgania naczynia wyciągowego, na podstawie łącznych charakterystyk można wyznaczyć wartości poziomych sił działających w układzie naczynie - zbrojenie.

1. ANALIZA WIDMOWA ODCHYLEK SZTYWNYCH PROWADNIKÓW NA DŹWIGARACH I ANALIZA WIDMOWA DRGAŃ NACZYŃIA WYCIĄGOWEGO

Prowadzenie naczynia w szybie w trakcie jego pionowego ruchu jest realizowane za pomocą przewodników. Parametrami toru przewodnikowego, wpływającymi na wzbudzenie się drgań naczynia wyciągowego, są: pionowość przewodników, liniowość przewodników, kształt toru przewodnikowego, charakter nierówności przewodników, sztywność zbrojenia szybowego.

W literaturze przytoczonej w pracy [6] przedstawiono istotny wpływ tych parametrów na wartość sił poziomych i amplitud przyspieszeń drgań poziomych naczynia wyciągowego w trakcie jego pionowego ruchu. Z tego też względu dokładna znajomość parametrów toru przewodnikowego jest niezbędna do poprawnej analizy stanu prowadzenia naczyń wyciągowych.

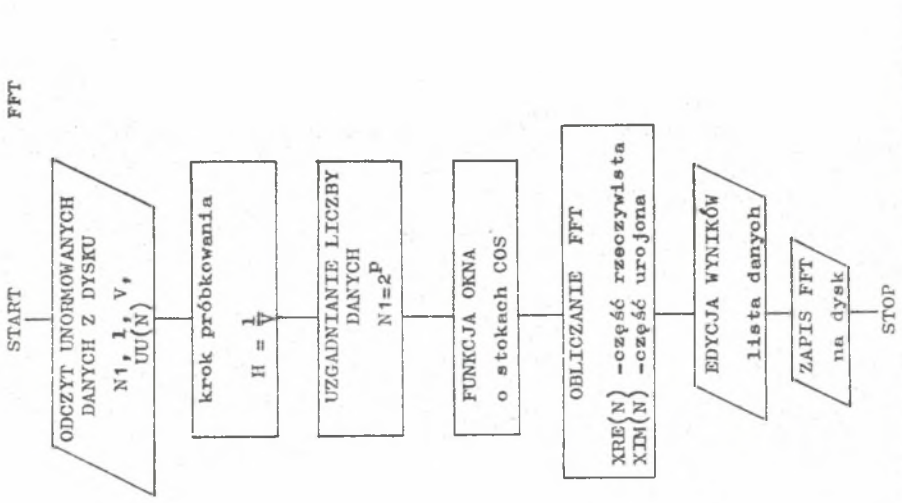
Dostępными parametrami opisującymi tor przewodników są odchyłki przewodników od pionu wyznaczone w trakcie przeprowadzania pomiarów pionowania szybu. Wykorzystując odchyłki przewodników wyznaczono statystyczne estymatory opisujące w dziedzinie częstotliwości własności przewodników.

Analizę częstotliwościową przewodników przeprowadzono wykorzystując szybką transformatę Fouriera FFT [2] oraz stosując cyfrowe algorytmy obliczania estymatorów. Obliczenia realizowane na mikrokomputerze.

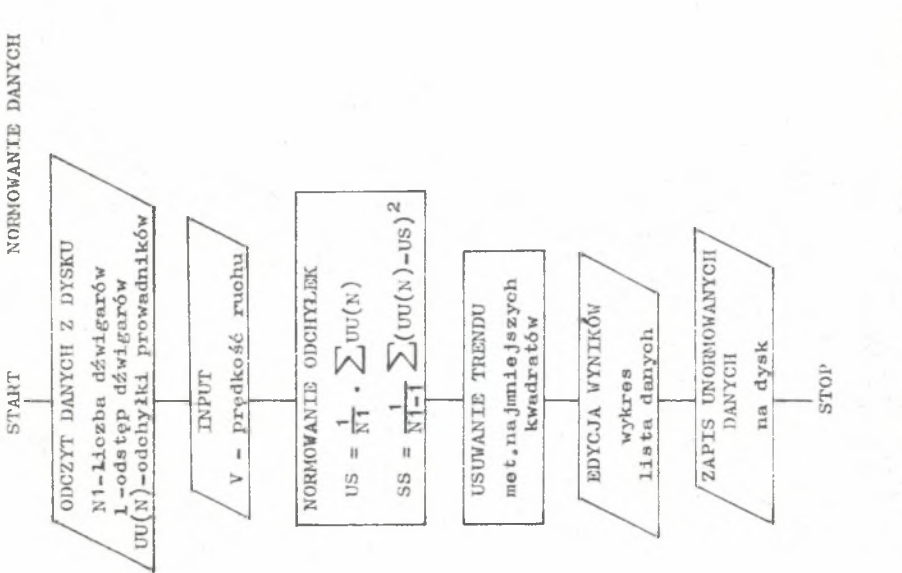
Algorytmy, które przedstawiono na rys. 1 do rys. 4, umożliwiają normowanie danych wejściowych, obliczenie szybkiego przekształcenia Fouriera FFT, estymowanie metodą numeryczną gęstości widmowej mocy $G_{ii}(f)$ i wzajemnej gęstości widmowej $G_{ij}(f)$. Wyniki przykładowych obliczeń gęstości widmowej mocy odchyłek przewodników przedstawiono na rys. 5a i rys. 6a.

W części pierwszej artykułu przedstawiono analizę odchyłek przewodników, które w głównej mierze wpływają na wzbudzenie się drgań naczynia wyciągowego w trakcie jego pionowego ruchu w szybie. Następnymi danymi diagnostycznymi pomocnymi w ocenie stanu prowadzenia naczyń wyciągowych są wyniki pomiarów drgań naczynia wyciągowego w płaszczyźnie poziomej.

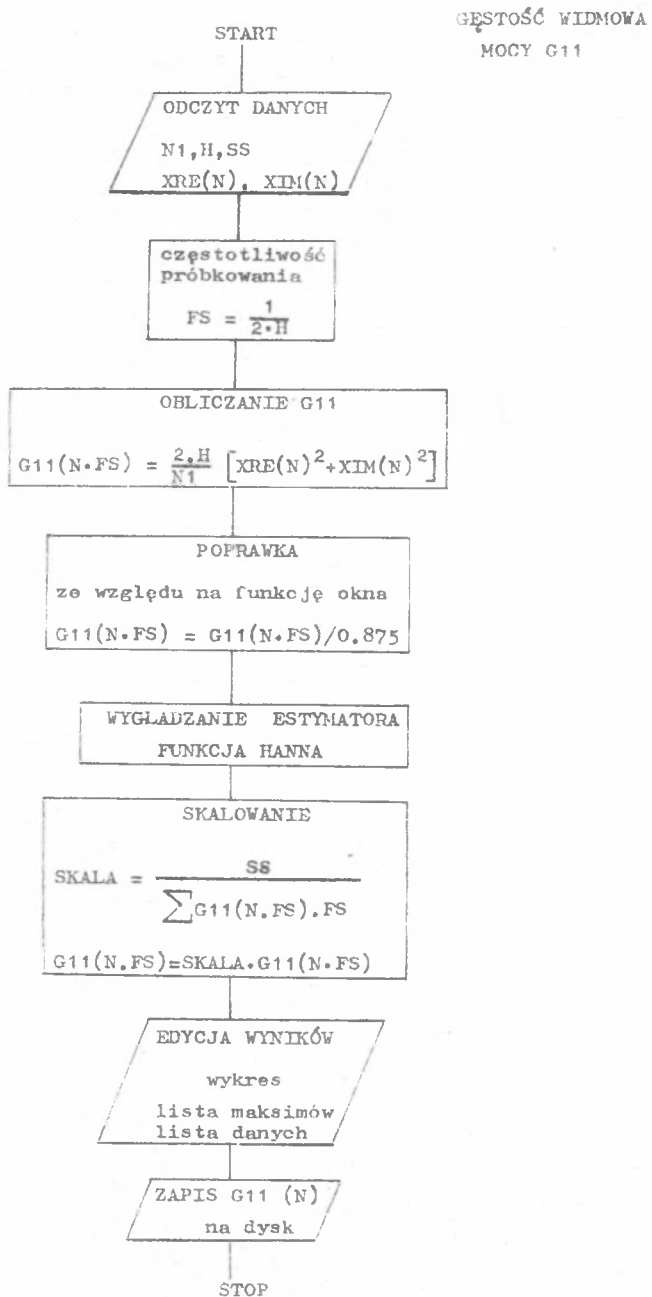
Przed przystąpieniem do wykonywania analiz widmowych przyjęto zgodnie z założeniami poczynionymi w pracy [6], że układ naczynie wyciągowe - zbrojenie szybowe jest układem ciągłym, liniowym, stochastycznym i stacjonarnym. Następnie wg przytoczonych algorytmów obliczono wygładzone estymatory gęstości widmowej mocy drgań w kierunku czołowym rys. 5b i w kierunku bocznym rys. 6b.



Rys. 2. Algorytm obliczania szybkiej transformy Fouriera

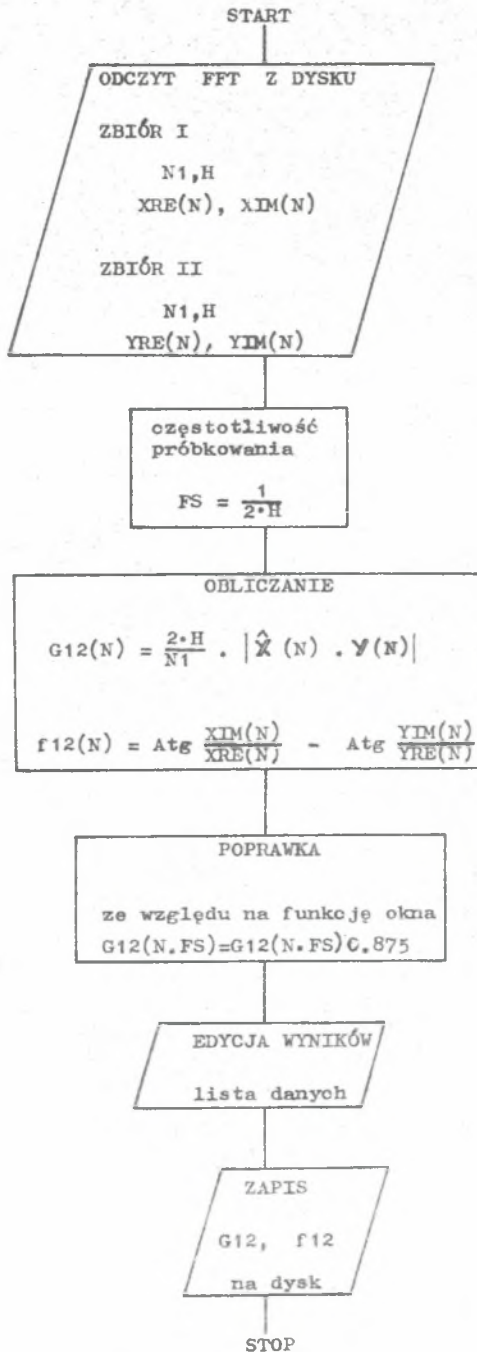


Rys. 1. Algorytm normowania odchyłek prowadników

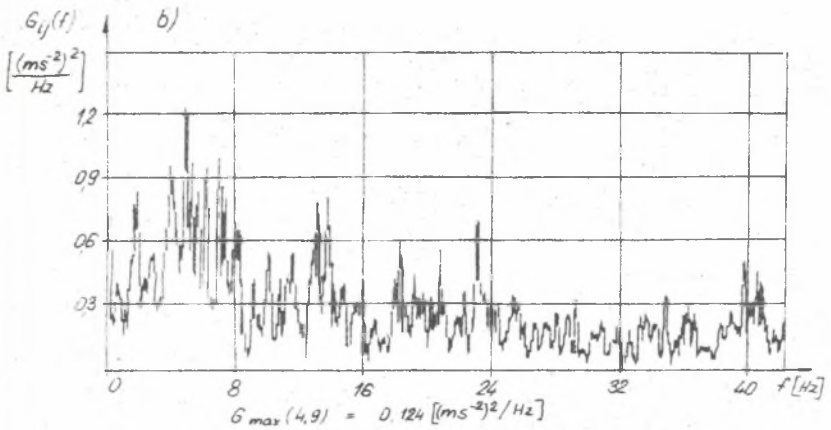
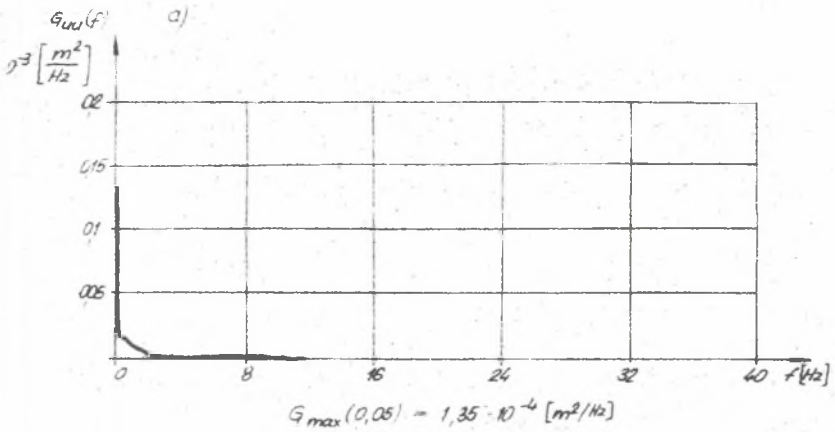


Rys. 3. Algorytm obliczania gęstości widmowej mocy

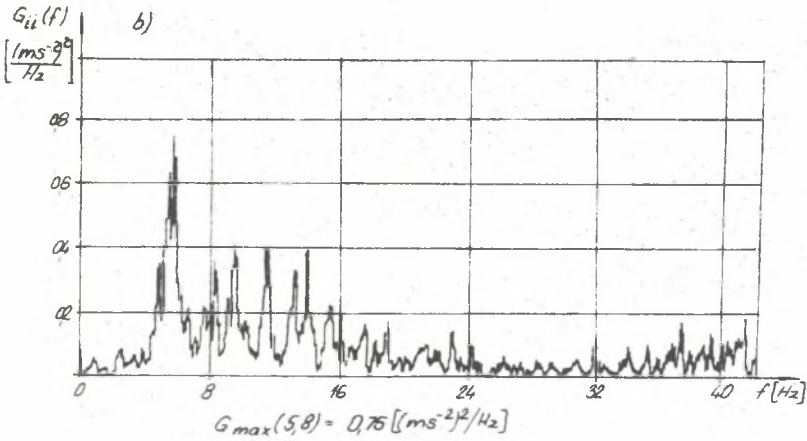
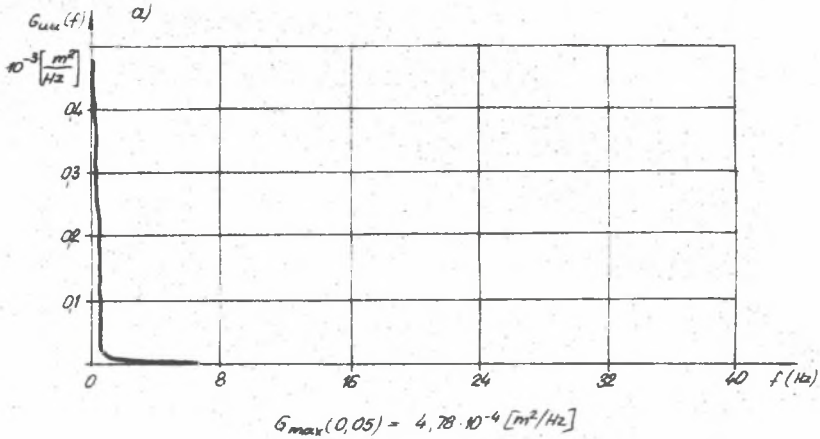
GĘSTOŚĆ WIDMOWA
WZAJEMNA



Rys. 4. Algorytm obliczania wzajemnej gęstości widmowej



Rys. 5. Gęstość widmowa mocy odchyłek ozołowych przewodników modelowanych liniowo - a, i przyspieszeń drgań w kierunku ozołowym - b



Rys. 6. Gęstość widmowa mocy odchyłek bocznych przewodników modelowanych liniowo - a, i przyspieszeń drgań w kierunku bocznym - b

2. OCENA STANU PROWADZENIA NACZYŃ WYCIĄGOWYCH NA PODSTAWIE POMIARU ICH POZIOMYCH DRGAŃ

Obowiązujące kryteria oceny stanu prowadzenia naczyń górniczych urządzeń wyciągowych przedstawiono w instrukcji [5]. W przypadku stwierdzenia w trakcie pomiarów wystąpienia wartości przyspieszeń przekraczających dopuszczalne poziomy określone instrukcjami [5] należy porównać zmierzone wartości przyspieszeń z przyspieszeniami obliczonymi dla siły poziomej, na którą było obliczone zbrojenie i wartością rzeczywistego współczynnika bezpieczeństwa obliczonego dla rzeczywistego wskaźnika wytrzymałości na zginanie z uwzględnieniem skutków eksploatacji zbrojenia.

Jak z tego widać, decydującym kryterium oceny stanu prowadzenia jest zmiana współczynnika bezpieczeństwa zbrojenia szybowego wyznaczona dla rzeczywistej siły poziomej i rzeczywistego wskaźnika wytrzymałości na zginanie przy założeniu nieprzekroczenia dopuszczalnego zużycia korozyjnego i ściernego.

Wskaźnik wytrzymałości na zginanie można wyznaczyć na podstawie pomiarów geometrycznych prowadników i dźwigarów z uwzględnieniem zużycia eksploatacyjnego, natomiast wartości sił poziomych działających w układzie naczynie - zbrojenie na podstawie podanych niżej zależności:

W pracach projektowych oblicza się wartości sił poziomych wg wzoru [12] (2.1)

$$P_{\text{poz}} = \left[\frac{V}{300} + 0.03 \right] \cdot (Q+q) \quad (2.1)$$

gdzie:

- V - prędkość ruchu pionowego naczynia,
- Q - maksymalne obciążenie statyczne naczynia pustego,
- q - udźwig naczynia,

dla odstępów dźwigarów $l \leq 1.5$ [m], dla $l > 1.5$ [m] siłę poziomą należy powiększyć o 10% na każde 0.5 [m] wzrostu odstępów dźwigarów.

Metodę obliczenia sił poziomych działających w układzie naczynie wyciągowe - zbrojenie szybkowe podaje Popowdow [11]. Wartość siły poziomej można obliczyć wg wzoru:

$$P_p = w \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Q \cdot c}{g}} \quad (2.2)$$

gdzie:

- $w = \frac{u \cdot V}{l}$ - prędkość poziomego ruchu naczynia wyciągowego,
- u - nierówność prowadnika typu skokowego,
- l - długość strefy zaniku nierówności
- Q - ciężar naczynia wyciągowego,

c - zastępczy współczynnik sprężystości układu naczynie - zbrojenie

$$c = \frac{c_{zb} \cdot c_n}{c_{zb} + c_n}$$

W pracy doktorskiej H. Knopa [8] przytoczono równania wg Słobodkina pozwalające obliczać wartości sił poziomego oddziaływania pomiędzy naczyniem a zbrojeniem w postaci wzorów:

- Siła pozioma działająca na naczynie

$$P_{D1} \approx \frac{V^2 \cdot u \cdot m}{l^2} \quad (2.3)$$

- Siła uderzenia naczynia o przeciwniegi przewód

$$P_{P2} \approx \frac{V \cdot u}{l} \cdot \sqrt{2 \cdot c \cdot m} \quad (2.4)$$

W pracach St. Kawuloka [7] wartość poziomych sił działających w układzie naczynie z przewodnikami tocznymi - przewodniki szybowe można wyznaczyć na podstawie wzoru:

$$P_p = w \cdot \sqrt{c \cdot m} \quad (2.5)$$

Obowiązujące w NRD przepisy [1] podają następujące równanie służące do obliczenia dynamicznych sił poziomych w układzie naczynie - zbrojenie:

$$P_p = k_z \cdot V \cdot \sqrt{q \cdot c_p} \quad (2.6)$$

gdzie:

k_z - współczynnik uwzględniający pionowość płaszczyzn prowadzenia w szybie $k_z = 0,01 - 0,02$,

c_p - współczynnik sprężystości przewodników określony zależnością

$$c_p = \frac{48 \cdot E_p \cdot I_p}{l_p^3}$$

Istotnym problemem w przypadku wyznaczania sił poziomych działających na zbrojenie szybowe, a pochodzących od naczynia wyciągowego, jest wyznaczenie masy zredukowanej biorącej udział w uderzeniu i prędkości poziomego ruchu naczynia. W przypadku wykorzystania bezpośrednio wartości amplitud przyspieszeń uzyskanych z pomiarów akcelerometrycznych [5] nie można w sposób zadowalający obliczyć wartości masy zredukowanej naczynia. Natomiast w przypadku przeprowadzenia analizy widmowej przyspieszeń drgań można wyznaczyć pasma częstotliwości drgań naczynia wywołane odchyłkami przewodników i obliczyć widmo prędkości poziomych drgań naczynia.

Wyznaczanie sił poziomych w układzie naczynie - zbrojenie od przewodnic zabezpieczających przedstawiono w pracy [10], [4] i można je wyznaczyć na podstawie wzoru (2.7)

$$P_p = m_z \cdot \frac{V}{l} \cdot \xi_p \cdot w \quad (2.7)$$

gdzie:

m_z - masa zredukowana naczynia z ładunkiem,

V - prędkość pionowego ruchu naczynia,

l - odstęp dźwigarów,

w - maksymalna prędkość poprzecznego ruchu naczynia,

ξ_p - współczynnik zależny od EI ; l ; m_z ; V ; a ; d zdefiniowany w pracy [10].

Jak wynika ze wzorów od (2.2) do (2.7), siła pozioma jest proporcjonalna do prędkości drgań naczynia wyciągowego. Amplitudy prędkości drgań naczynia wyciągowego można wyznaczyć z gęstości widmowej mocy przyspieszeń drgań

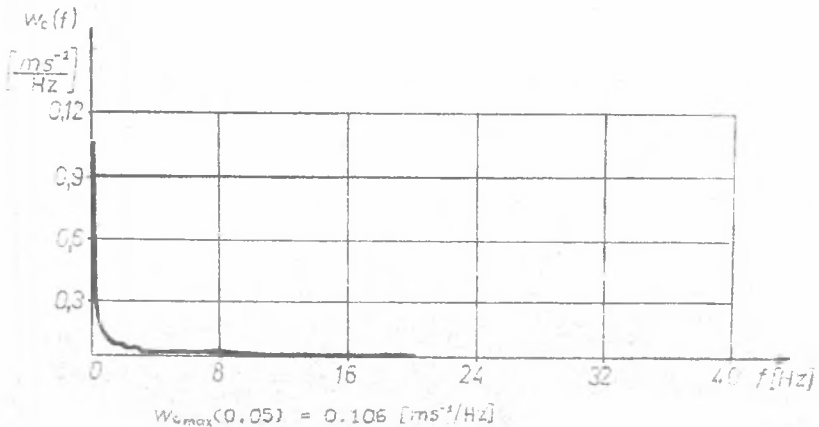
$$w_k = \frac{a_k}{\omega_k} \quad (2.8)$$

gdzie:

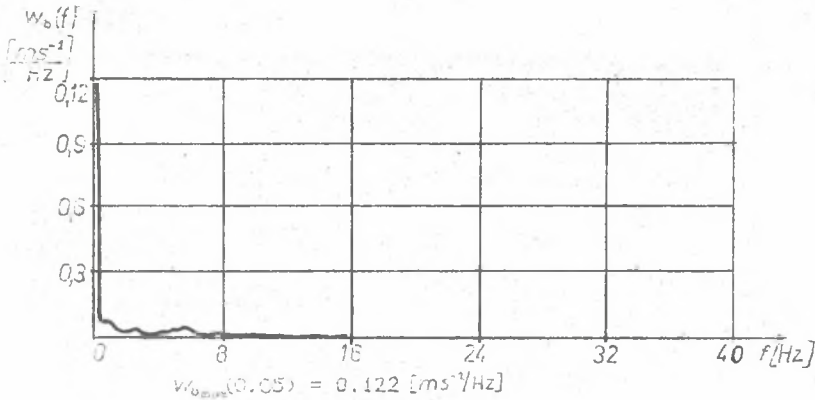
a_k - amplituda przyspieszeń drgań dla k -tej częstotliwości,

ω_k - częstość kołowa drgań dla k -tej częstotliwości.

Wyznaczając charakterystykę amplitudy prędkości w funkcji częstotliwości otrzymano dla kierunku czołowego drgań przebieg przedstawiony na rys. 7, natomiast dla kierunku bocznych drgań analogiczny wykres przedstawia rys. 8.



Rys. 7. Prędkość drgań klatki w kierunku czołowym



Rys. 8. Prędkość drgań klatki w kierunku bocznym

Jak wynika z przedstawionych wykresów, rys. 7, rys. 8, w obu kierunkach drgań dominują głównie amplitudy prędkości drgań o najniższej częstotliwości wynoszącej $f = 0,0525$ [Hz]. Częstotliwość ta zawiera się w paśmie podstawowej częstotliwości wymuszeń odchyłek przewodników rys. 5a, rys. 6a.

Zarówno dla drgań w kierunku czołowym, jak i bocznym występowanie pojedynczego maksimum prędkości pozwala na uproszczenie obliczeń i przyjęcie najprostszego modelu naczynia wyciągowego - jednomasowego [4], [8], [9], [10] w układzie naczynie wyciągowe - zbrojenie szybowe.

Całkując przebieg prędkości w granicach od $f_1 = 0$ do $f_2 = 2$ [Hz] obliczono wartość prędkości drgań klatki. Zgodnie z poczynionymi założeniami, wartość maksymalnej prędkości drgań można obliczyć wg wzoru:

$$w_{\max} = 3 \cdot \sum_{f=f_1}^{f_2} w(f) \cdot FS \quad (2.9)$$

Opierając się na wyznaczonych wartościach prędkości drgań naczynia wyciągowego można wyznaczyć wartości sił poziomych działających w układzie naczynie - zbrojenie szybowe [10] i obliczyć wartość spodziewanych odchyłek przewodników [3], [4], [9]

$$dU_{\max} = \left[w \cdot \frac{V}{l} \cdot \sum_{k=1}^{k=5} |\xi \cdot \eta|^k \right]^{-1} \quad (2.10)$$

gdzie:

dU_{\max} - maksymalna wartość odchyłek przewodników występująca na poziomach dwu kolejnych dźwigarów,

ξ - współczynnik uwzględniający wpływ zmian sprężystości zbrojenia szybowego,

η - współczynnik uwzględniający wpływ przewodnic tocnych naczyń na maksymalne obciążenie zbrojenia szybowego.

Na podstawie obliczonych wartości prędkości poziomego ruchu naczyń, masy zredukowanej można obliczyć wartości poziomych sił dynamicznych działających w układzie naczynie - zbrojenie.

Opierając się na rzeczywistym współczynniku wytrzymałości przewodników, dźwigarów zbrojenia szybowego na zginanie i obliczonych siłach dynamicznych można rzeczywisty współczynnik bezpieczeństwa zbrojenia szybowego oraz maksymalne wartości odchyłek przewodników. Wyznaczone wartości pozwalają na dokonanie oceny stanu prowadzenia naczyń górniczych urządzeń wyciągowych.

Opierając się na przedstawionych w pracy badaniach i wpływających z nich wnioskach opracowano algorytm oceny stanu prowadzenia naczyń górniczych urządzeń, wykorzystujący pomiar drgań naczyń i komputerową analizę otrzymanych wyników, który przedstawiono poniżej na rys. 9.

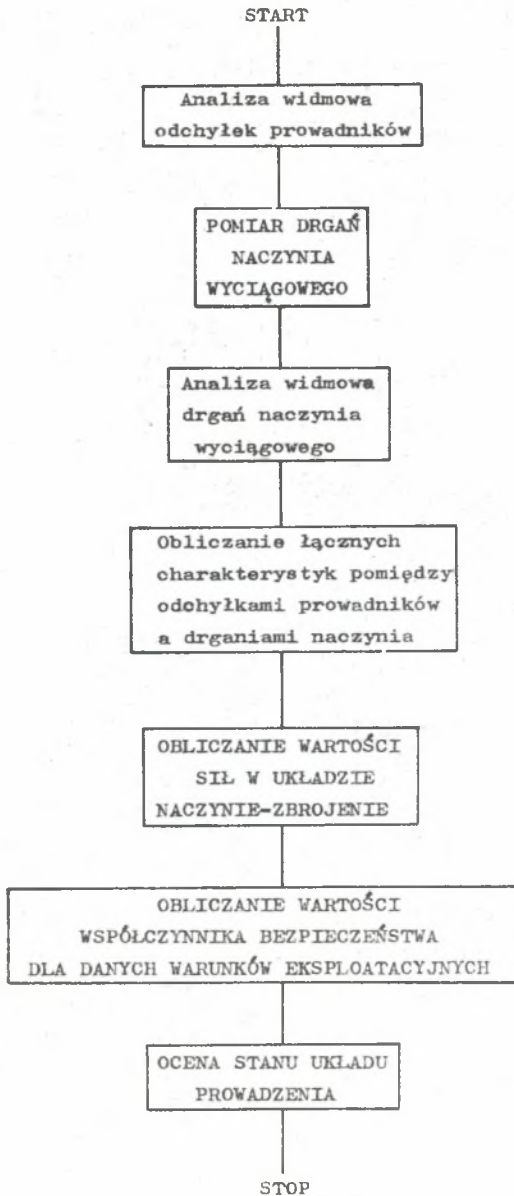
Na podstawie powyższego algorytmu i analiz widmowych przytoczone w artykule dla szybu 2A KWK "Makoszowy" obliczono wartości poziomych sił od przewodnic tocnych działających w układzie naczynie wyciągowe - zbrojenie szybowe, wzór (2.5) oraz w przypadku wystąpienia kontaktu z przewodnikami zabezpieczającymi, wzór (2.7).

Prędkość drgań, rys. 7 i rys. 8, obliczono dla naczyń nie obciążonego, stąd w obliczeniach uwzględniono masę pustego naczyń wynoszącą $m = 12 \cdot 10^6$ [g], zastępczy współczynnik sprężystości dla układu z elastycznymi przewodnikami tocznymi przyjęto zgodnie z [7], [10] $c = 10^5$ [Nm⁻¹]. Dla drgań w kierunku czołowym prędkość pozioma obliczona na podstawie danych z rys. 7 wynosi $w_p = 0.053$ [ms⁻¹].

Ze względu na występowanie w przebiegu prędkości drgań naczyń, rys. 7, pojedynczego dominującego maksimum założono, że w uderzeniu bierze udział cała masa naczyń wyciągowego. Stąd zgodnie z wzorem (2.5) obliczono $F_p = 1840$ [N].

Przy założeniu, że w układzie nastąpiło uderzenie ślizgowych przewodnic zabezpieczających o przewodniki wartość siły poziomej przy uwzględnieniu maksymalnej prędkości obliczonej ze wzoru (2.9) wynoszącej $w_m = 0.15$ [ms⁻¹] $F_p = 1$ wg [10] dla prędkości pionowego ruchu klatki w szybie $V = 14$ [ms⁻¹] i odstepu dźwigarów wynoszącego $l = 5$ [m] siła pozioma wg (2.7) wyniesie $F_p = 5322$ [N].

Na podstawie obliczonych wartości sił poziomych można wyznaczyć rzeczywisty współczynnik bezpieczeństwa i na tej podstawie ocenić stan zbrojenia szybowego.



Rys. 9. Algorytm oceny stanu prowadzenia naczyń górniczych urządzeń wyciągowych

LITERATURA

- [1] Arbeitsschutz und Brandschutzanordnung 120/2 Bergbausicherheit im Bergbau unter Tage Gesetzblatt in DDR. Berlin 1974.
- [2] Bondat J.S., Piersol A.G.: Metody analizy i pomiarów sygnałów losowych. PWN, Warszawa 1976.
- [3] Hansel J., Kawka G., Płachno M.: An estimation of mine conveyance guiding. Mechanika 1985, t.4, z.2.
- [4] Hansel J., Płachno M., Kawka G.: Zagadnienie oceny stanu eksploatacyjnego prowadzenia naczyń wyciągowych w szybach. III Konferencja Naukowo-Techniczna; Kierunki rozwoju górniczych urządzeń wyciągowych. AGH, Kraków 1984, z.5.
- [5] Instrukcja oceny spokoju jazdy naczyń wyciągowych na podstawie pomiaru ich poziomych przyspieszeń w szybie za pomocą akcelerometru typu "SEPARATOR". Ministerstwo Górnictwa GIG, Katowice 1978.
- [6] Kawka G.: Metoda oceny stanu układów prowadzenia naczyń górniczych urządzeń wyciągowych. Praca doktorska niepublikowana, AGH, Kraków 1987.
- [7] Kawulok S.: Zagadnienie związane ze zwiększeniem odstępów pomiędzy dźwigarami zbrojenia szybowego. Kierunki rozwoju górniczych urządzeń wyciągowych. II Konferencja Naukowo-Techniczna, z.B, Gliwice 1972.
- [8] Knop H.: Zagadnienie sił działających na zbrojenie szybowe w czasie ruchu naczyń wydobywczych. Praca doktorska niepublikowana, AGH, Kraków 1964.
- [9] Opracowanie metod i środków umożliwiających osiągnięcie wymaganego stanu bezpieczeństwa i niezawodności pracy wyciągów. Sprawozdanie z realizacji prac naukowo-badawczych za rok 1986, ŚLBSIUTL, AGH,
- [10] Płachno M.: Zagadnienie sił od prowadnic zabezpieczających w układach prowadzenia szybowego z prowadnikami na dźwigarach. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 7-8, Katowice 1982.
- [11] Popowicz O.: Transport kopalniany, cz.V. Wyciągi szybowe. Katowice 1957.
- [12] Warunki techniczne zbrojenia szybowego. MGIE i WUG, Katowice 1984.

Recenzent: Doc. dr inż. Tadeusz Zamysłowski

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ
СОСТОЯНИЯ ПРОВЕДЕНИЯ СОСУДОВ ПОДЪЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Резюме

В статье представлено алгоритмы для спектрального анализа отклонений кондукторов и колебаний подъемных сосудов. В дальней части подано зависимости описывающие величины сил горизонтальных в системе "сосуд-армировка", на основании которых разработано алгоритм для оценки состояния проведения подъемных сосудов. Все теоретические рассуждения были иллюстрированы результатами испытаний передвижения, которые проводились в шахтном стволе 3А Шахты каменного угля "МАКОШОВЫ".

USING COMPUTER METHODS FOR EVALUATION OF GUIDANCE
STATE OF GIN TUBS IN WINDING GEARS

Summary

Algorithms used for spectroanalysis of guide deviations and gin tubs vibration are presented in this paper. In a further part, relationships are quoted to describe the values of horizontal forces acting in the tub - reinforcement system, on the basis of which algorithm has been formulated to evaluate the state of gin tub guidance. The whole theoretical considerations are supported with the results of motion investigations conducted at KWK "Makoszowy" shaft 2A.