

Andrzej SZAFRANIEC

## WYWAŻANIE STATYCZNE WIRUJĄCYCH ZESTAWÓW RADIOLOKACYJNYCH

**Streszczenie.** Przedstawiono metodę wyważania statycznego wolnoobrotowych wirników pionowych na przykładzie kabiny antenowej stacjonarnej jednostki radiolokacyjnej JAT-122.

### 1. WSTĘP

Wielotonowe, obracające się, niewyważone masy są źródłem znaczących, okresowych sił oddziaływujących na konstrukcje nośne i łożyska wielu obiektów technicznych. W przypadku zestawów antenowych radarów, gdzie wymagana jest praca ciągła, siły te powodować mogą przedwczesne zużycie łożyska głównego, jak i zmęczenie konstrukcji nośnej.

Np. przy masie wirującej rzędu 12.000 kg i dopuszczalnej odległości środka ciężkości od osi obrotu  $\sim 50$  mm (co daje moment statyczny 600 kgm), przy prędkości obrotowej  $12 \text{ min}^{-1}$ , siła odśrodkowa wynosi 900 N.

Ponieważ zwykle środek ciężkości jest położony wysoko (w konkretnym przypadku na wysokości 3,5 m), łożysko główne jest obciążone dodatkowo momentem przemiennym o znacznej amplitudzie (w rozważanym przypadku rzędu 3000 Nm)

W opracowaniu autor przedstawia metodę pomiaru momentu statycznego wirujących zestawów radiolokacyjnych na przykładzie prototypowej jednostki antenowej JAT-122 produkcji OBRUM Gliwice i PIT Warszawa. Pomiar ten ma na celu wyważenie statyczne zestawu wirujących mas.

### 2. WYZNACZANIE MOMENTU STATYCZNEGO

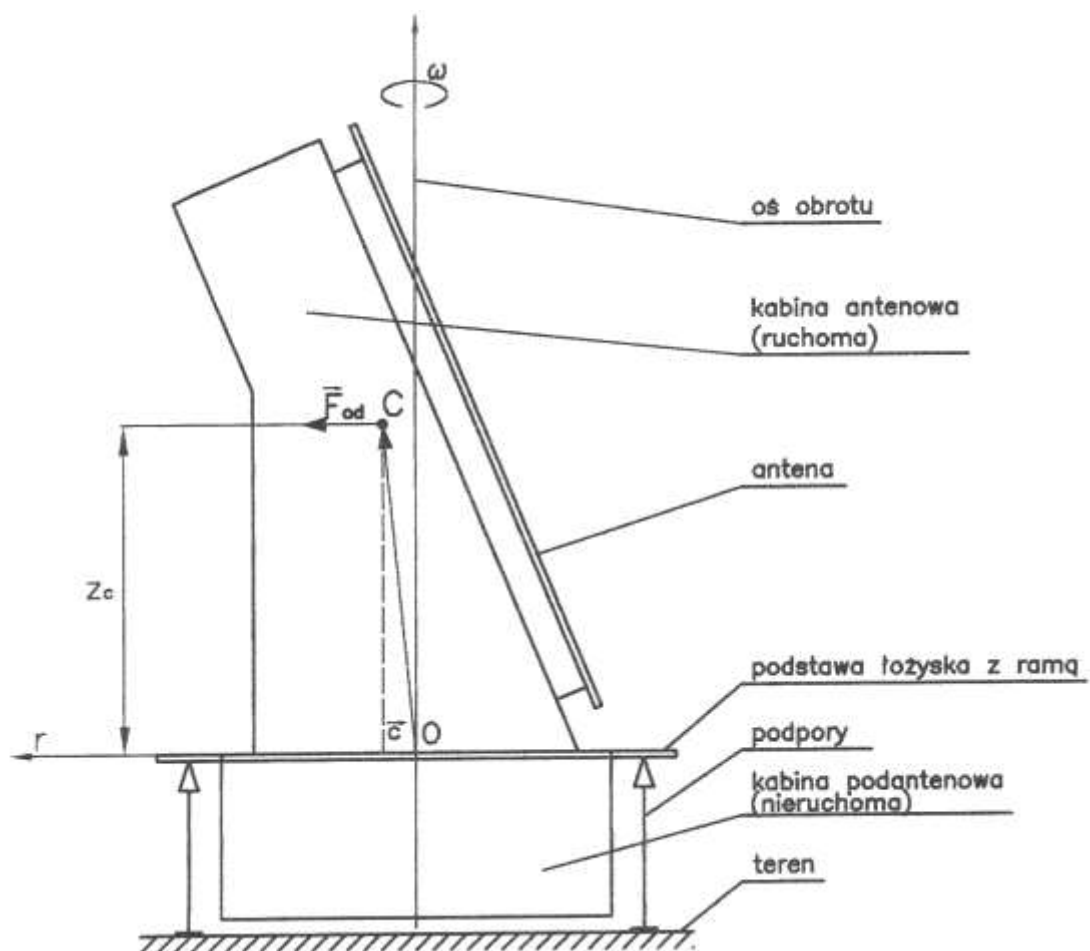
#### 2.1 Układ współrzędnych

W analizie posłużono się cylindrycznym układem współrzędnych  $\mathbf{r}, \varphi, \mathbf{z}$ , związanym z obracającą się kabiną antenową. Początek układu leży na osi obrotu, w płaszczyźnie łożyska głównego. Położenie środka ciężkości określa wektor  $\vec{OC}$  ( $\mathbf{c}, \varphi_c, \mathbf{z}_c$ ), którego rzutem na płaszczyznę łożyska głównego jest wektor

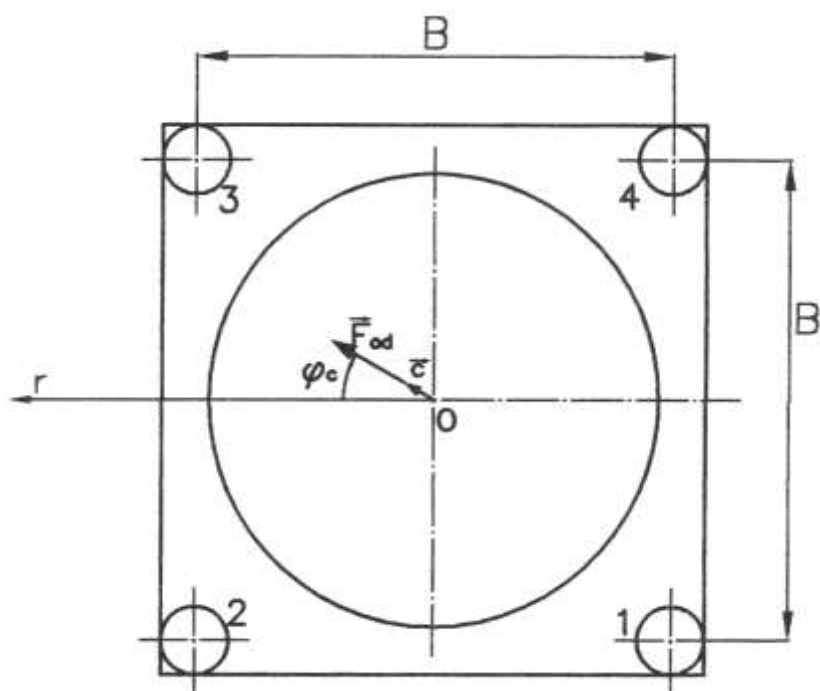
$$\vec{c} = ce^{i\varphi_c} \quad (1)$$

Kierunek kąta  $\varphi$  jest przeciwny do kierunku obrotu anteny (przeciwny do ruchu wskazówek zegara). Układ współrzędnych na tle jednostki antenowej przedstawiono na rysunku 1.

Kąt  $\varphi = 0$  przyjęto dla osi skierowanej prostopadle do lustra anteny. Na Rys. 2 przedstawiono również rozmieszczenie podpór na tle podstawy łożyska.



Rys. 1. Schemat jednostki antenowej.



Rys. 2. Usytuowanie podpór jednostki antenowej.

## 2.2. Moment statyczny

Moment statyczny mas zespołu wirującego względem osi obrotu (osi łożyska) należy traktować jako wektor:

$$\vec{M} = \int \vec{r} dM \quad (2)$$

który, po wprowadzeniu współrzędnych środka ciężkości, należy obliczać jako:

$$\vec{M} = m \vec{c} = m c e^{i\varphi_c}, \quad (3)$$

gdzie  $m$  oznacza masę zestawu wirującego.

Wartość masy znana jest z innych pomiarów lub z danych technicznych rozpatrywanego obiektu. Wyznaczenie momentu statycznego jest równoznaczne z określeniem odległości środka ciężkości od osi obrotu  $c$  i kąta jego położenia  $\varphi_c$ .

## 2.3 Metoda pomiaru

Mierzone są naciski całej jednostki (części wirującej i stałej) na podpory (reakcje podpór). W tym celu, między podpory a podstawę łożyska, instalowane są czujniki nacisku. Sytuację upraszcza fakt, że w konkretnym rozwiązaniu, czujniki ułożone są w wierzchołkach kwadratu o boku  $B$ . (Rys. 2)

Rejestracji podlegają wartości nacisków w zależności od kąta obrotu anteny. Rejestracja odbywa się dla kątów ustawienia anteny  $\alpha$  w zakresie od  $0$  do  $2\pi$  co  $\frac{2\pi}{n}$ , gdzie  $n$  jest ilością pomiarów.

W każdym pomiarze, suma reakcji podpór jest ciężarem jednostki, jego powtarzalność świadczy o dokładności pomiaru.

## 2.4 Metoda obliczeń

Ponieważ środek ciężkości mas wirujących zatacza okrąg o promieniu  $c$  czujniki nacisków rejestrują ich zmiany w funkcji kąta obrotu.

Zmierzona wartość bezwzględna nacisku na pojedynczą podporę zależy od:

- ciężaru całej jednostki
- położenia środka ciężkości zestawu wirującego
- położenia środka ciężkości podstawy nieruchomej
- wzajemnego ustawienia podpór (układ nie jest statycznie wyznaczalny; reakcja zależy od sprężystości podstawy i względnej wysokości podpór)

Wielkością zmienną jest tu jedynie położenie środka ciężkości mas wirujących. O momencie statycznym tych mas świadczyć będzie amplituda i faza zmian nacisku a nie jego bezwzględna wartość.

Analizie poddano wypadkową (sumę) dwóch nacisków na sąsiednie podpory. Zgodnie z przyjętym układem współrzędnych wybrano podpory zaznaczone na rysunku 2 jako nr 2 i 3. Oczywiście można posłużyć się dowolną parą podpór zmieniając stosownie kierunek odniesienia ( $\varphi = 0$ ).

Niech  $N_i = N_{3i} + N_{2i}$  oznacza łączny nacisk na podpory nr 2 i 3 i jest wynikiem  $i$ -tego pomiaru odpowiadającego kątowi ustawienia anteny

$$\alpha_i = \frac{i-1}{n} 2\pi \quad (4)$$

Analizie podlegają odchylenia wartości pomiarowej od wartości średniej

$$\Delta N_i = N_i - N_{\text{sr}} \quad (5)$$

gdzie: 
$$N_{\text{sr}} = \frac{1}{n} \sum N_i$$

Odchylenia nacisków od wartości średniej można aproksymować funkcją  $\Delta N = f(\alpha)$  postaci:

$$\Delta N = A \cdot \cos(\alpha - \varphi_c) \quad (6)$$

gdzie:

- A** - amplituda zmian nacisku
- $\varphi_c$**  - faza (współrzędna położenia środka ciężkości)

Przy wyborze innej pary podpór w przyjętym układzie współrzędnych należy dodatkowo wprowadzić do funkcji korektę fazy.

Gdy środek ciężkości znajduje się w płaszczyźnie będącej płaszczyzną symetrii anteny  $\varphi_c = 0$  lub  $\pi$ .

Wyznaczanie wartości **A** i  **$\varphi_c$**  odbywa się metodą najmniejszych kwadratów. O ile faza  **$\varphi_c$**  bezpośrednio wskazuje kierunek rzutu wektora położenia środka ciężkości na płaszczyznę podstawy łożyska, o tyle moduł **c** tego wektora należy wyznaczyć jako

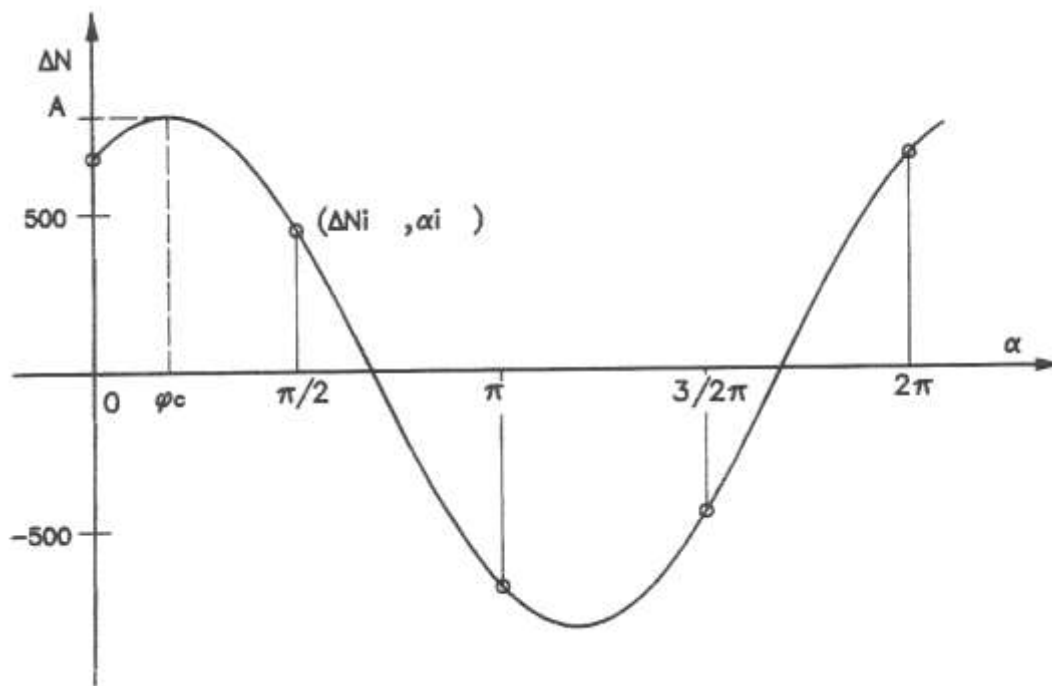
$$c = \frac{M}{m} \quad (7)$$

gdzie, z kolei, moment statyczny **M** związany jest z obliczoną amplitudą zmian nacisku **A** jako:

$$M = \frac{A}{g} \cdot B \quad (8)$$

gdzie: **B** – odległość między podporami.

Przebieg zmian nacisku na parę podpór w zależności od kąta ustawienia anteny  $\alpha$  przedstawiono na Rys. 3



Rys.3. Przebieg zmian nacisku na podpory w funkcji kąta obrotu anteny

### 3. WYWAŻANIE JEDNOSTKI

Wyważanie statyczne polega na przyłożeniu momentu statycznego o wartości przeciwnej do wyznaczonego wektora momentu statycznego, co może być uzyskane przez dołożenie stosownych mas w kabinie antenowej. Wielkość mas wynika z momentu statycznego  $M$

$$m_w = \frac{M}{r} \quad (9)$$

gdzie:  $r$  jest promieniem mocowania

Kąt mocowania mas wynosi  $\pi + \varphi_c$ . W przypadku wstępnego przygotowania mas o z góry ustalonych, dyskretnych wartościach ( $m_i$ ), oraz ich punktów mocowania ( $\varphi_i, r_i$ ), należy, oczywiście, tak dobrać moment statyczny wyważający, by jego wartość była jak najbardziej zbliżona do wartości wektora

$$\vec{M} = m_w r e^{i(\varphi_c + \pi)} \cong \sum m_i r_i e^{i\varphi_i} \quad (10)$$

### 4. UWAGI KOŃCOWE.

Przedstawiona metoda wyważania statycznego wykorzystuje cechy konstrukcyjne wyrobu pozwalające na łatwą instalację czujników nacisku pod podpory. Dla montażu czujników należy całą jednostkę antenową odłączyć od fundamentu, co nie jest możliwe dla każdego rozwiązania konstrukcyjnego.

Stan wyważenia jednostki (maksymalna wartość kąta odchylenia osi obrotu od pionu może wynosić rzędu kilku minut) ma wpływ na bezwzględną wartość nacisku na podporę a także, na średnią wartość tego nacisku, przy czym, dla małych kątów, przyrosty nacisków są od niego niezależne.

Niewyważenie (moment statyczny zestawu wirującego różny od 0) nie jest jedynym źródłem okresowo zmiennego momentu sił obciążającego łożysko. Istotnym źródłem dodatkowego obciążenia łożyska stanowi oddziaływanie wiatru.

Ze względu na prostotę proponowanej metody, oraz wagę techniczno-funkcjonalną zagadnienia, proces statycznego wyważania zestawu powinien wejść w skład prób stanowiskowych przed oddaniem urządzenia do eksploatacji.

## 5. LITERATURA

- [1] LEYKO J.: Mechanika ogólna. Tom I, PWN, Warszawa 1969.
- [2] Praca zbiorowa: Poradnik inżyniera matematyka, WNT Warszawa 1986.

## STATIC BALANCING OF ROTATING RADIOLOCATION UNITS

**Abstract:** A method of static balancing of slow-rotation vertical rotors is presented with antenna cabin of the JAT-122 stationary radiolocation unit as an example.

Recenzent: dr inż. Jacek SPAŁEK