

## **DZIAŁ TECHNICZNY**



CZESŁAW LIPIANIN

526.918.523 : 531.35

## Urządzenia żyroskopowe utrzymujące w pionie oś optyczną kamery lotniczej

### Wstęp

Dla celów topograficznych wykonuje się z samolotu przede wszystkim zdjęcia lotnicze prawie pionowe. Jednak pod wpływem skrętów samolotu dookoła poszczególnych osi w przestrzeni, oś optyczna kamery w momencie wykonywania zdjęcia jest nachylona w stosunku do pionu pod pewnym kątem. Wspomniany kąt, uwzględniając późniejsze kameralne opracowanie zdjęć lotniczych, można tolerować w granicach  $2^{\circ} \div 3^{\circ}$ . (Zdjęcia w ten sposób uzyskane należy przetwarzać, model stereoskopowy wymaga dokładnego poziomowania itp.). Znając dokładnie elementy orientacji wzajemnej, można na przyrządach fotogrametrycznych (uniwersalnych) powtórzyć w pewnej skali wzajemnej układ zdjęć, taki jaki istniał w momencie fotografowania. W tym celu potrzebne są jednak kosztowne przyrządy.

Chcąc więc uniknąć skomplikowanych czynności kameralnych, wystarczy aby kamera w momencie fotografowania była nachylona w stosunku do pionu w granicach  $1' \div 5'$ , wówczas można uważać takie zdjęcie jako plan fotograficzny terenu płaskiego i przez zwykłe pantografowanie uzyskać z niego plan w wymaganej skali.

Biorąc pod uwagę powyższe zagadnienia, rozwiązania techniczne poszły w kierunkach: a) określenia w czasie lotu dla każdego zdjęcia podłużnego kąta nachylenia  $\varphi$  i poprzecznego kąta —  $\omega$ ; b) stabilizacji kamery lotniczej w czasie wykonywania poszczególnych zdjęć lotniczych.

W pierwszym przypadku stosuje się sztuczne wskaźniki jak: wahadło, libela, sztuczny horyzont żyroskopowy oraz naturalne wskaźniki: fotografia Słońca, fotografia horyzontu. W drugim wypadku nie notuje się istniejącego nachylenia kamery, lecz przeciwdziała się wszelkim odchyleniom osi kamery od linii pionu. Do tego celu służą

urządzenia żyroskopowe. Urządzenia te w miarę ich doskonalenia pozwolą na uzyskanie zdjęć praktycznie pionowych. Już obecnie, stosując je, można doprowadzić do uproszczenia pewnych czynności kameralnych, uzyskując jednocześnie wyższą dokładność opracowania.

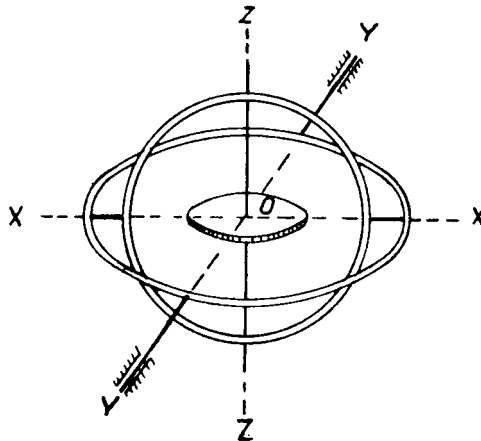
Ze względu na to, że w krajowej literaturze technicznej odczuwa się pewien brak publikacji na temat urządzeń żyroskopowych do celów fotografii lotniczej, został opracowany niniejszy artykuł.

Materiały do niniejszego artykułu zaczerpnięto przede wszystkim z publikacji radzieckich. Niniejszy artykuł publikuje się z myślą, że urządzenia żyroskopowe znajdą szersze zastosowanie przy wykonywaniu zdjęć lotniczych, zwiększając dokładność opracowania i dając należyty efekt ekonomiczny.

### Działanie żyroskopu

Zastanówmy się nad zasadą działania przyrządów żyroskopowych. Z fizyki wiadomo, że żyroskop jest to ciało sztywne obracające się dookoła punktu stałego znajdującego się na jego osi. Dąży on stale do zachowania w niezmienionym położeniu swojej osi w przestrzeni.

Podstawą wszystkich urządzeń żyroskopowych jest symetryczny żyroskop z 3 stopniami swobody (obroty dookoła własnej osi i osi prostopadłych do osi głównej). Są również żyroskopy z 2 stopniami swobody, lecz nie posiadają one podstawowych właściwości żyroskopu.



Rys. 39

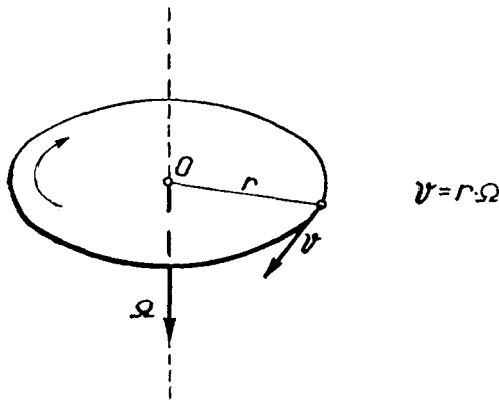
Największe zastosowanie posiadają żyroskopy astatyczne. Główna oś jest w nich zawieszona w pierścieniach Cardana, a punkt ciężkości znajduje się w punkcie przecięcia się osi  $XX$  i  $YY$  z osią główną  $ZZ$  (rys. 39).

Inne, np. nierównoważone żyroskopy, są to żyroskopy — wahadła

Współczesny żyroskop jest to silnik elektryczny zawieszony w pierścieniach Cardana. Rotor silnika w postaci pierścienia lub dysku spełnia rolę wirującej masy żyroskopowej. W czasie szybkiego obrotu rotora astatycznego żyroskopu oś jego pozostaje niezmieniona w przestrzeni.

W mechanice przyjęto oznaczać prędkość kątową wirującego ciała (rys. 40) w postaci wektora skierowanego wzdłuż osi obrotu w ten sposób, że gdy patrzymy z początkowego punktu wektora na jego koniec, to widzimy ciało obracające się w kierunku zgodnym z ruchem wskazówki zegara. Takie oznaczenie jest wygodne z tego względu, że wektor wskazuje:

- wielkość prędkości kątowej,
- kierunek działania prędkości kątowej (stosując regułę śruby).



Rys. 40

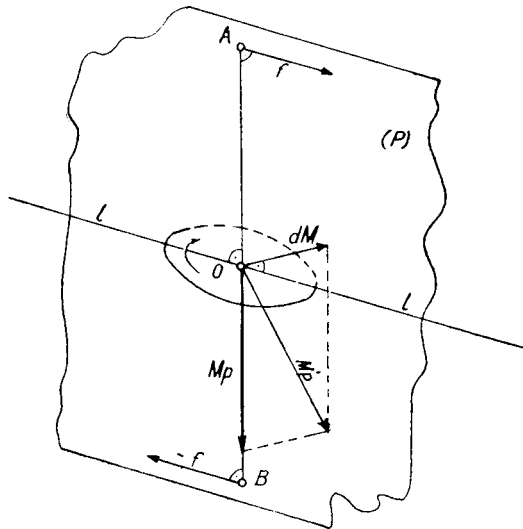
Wiadomo, że działanie sił zewnętrznych na ciało nie obracające się wywołuje ruch ciała w kierunku działania tych sił. Gdy ciało takie obraca się, wynik działania sił jest inny. Jeżeli na oś obrotu ciała działa siła zewnętrzna, to oś odchyli się o kąt  $\alpha$  w kierunku prostopadłym do płaszczyzny działania tej siły. W zastosowaniu do żyroskopów zjawisko to nosi nazwę precesji.

Zjawisko precesji można objaśnić na przykładzie zwykłego bąka wirującego dokoła osi (rys. 41). Niech posiada on moment pędu  $M_p$ . Stosując regułę śruby wektor momentu skierowujemy do dołu. Niech teraz na osie bąka działają dwie siły  $f$  i  $-f$ , leżące w jednej płaszczyźnie ( $P$ ) lecz skierowane w odwrotnych kierunkach i wektory ich niech będą prostopadłe do osi  $AB$ ; przy tym  $f = -f$ . Para sił  $f$  i  $-f$  wytworzy dodatkowy moment  $d\vec{M}$ , który zgodnie z zasadą śruby, (biorąc już pod uwagę siły  $f$  i  $-f$ ) będzie skierowany prostopadłe do płaszczyzny ( $P$ ).

Dodatkowy moment pędu  $d\bar{M}$  dodaje się wektorowo do momentu pędu  $M_p$  i nowy moment pędu wynosić będzie

$$\bar{M}'_p = \bar{M}_p + d\bar{M}.$$

Moment pędu  $\bar{M}'_p$  leży w tej samej płaszczyźnie co dodatkowy moment  $d\bar{M}$  i względem płaszczyzny (P) leży po tej samej stronie co  $d\bar{M}$ ; swoim działaniem moment  $\bar{M}'_p$  stara się obrócić bąka dookoła osi  $ll$ . Po-



Rys. 41

nieważ bąk może wirować tylko wokół osi identycznej z jego osią symetrii, a więc kierunki jego osi symetrii i osi obrotu zgadzają się zawsze z osią momentu pędu, przeto bąk obróci się tak samo jak wektor momentu pędu  $\bar{M}'_p$ . Oś obrotu bąka zajmie położenie wektora  $\bar{M}'_p$ .

Żyroskop astatyczny o 3 stopniach swobody również reaguje na działanie momentu sił zewnętrznych w ten sposób, że siła przyłożona do jednego z pierścieni Cardana wywołuje precesję innego pierścienia, na nim zawieszono.

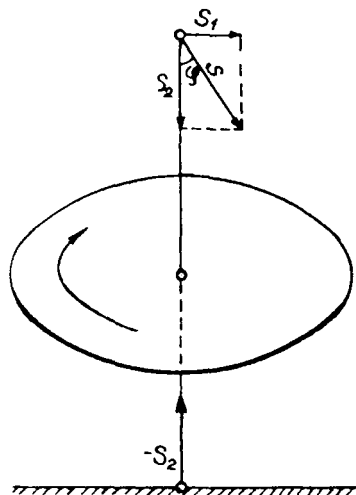
Precesja żyroskopu jest tym mniejsza im większa jest szybkość kątowa rotora żyroskopu i im większy jest moment bezwładności ( $J$ ) rotora, uzależniony od formy, masy i wymiarów rotora.

Zewnętrzna siła zakłócająca (lub moment sił) może być przyłożona względem osi żyroskopu nie tylko pod kątem prostym. Siła  $S$ , działająca pod kątem  $\varphi$  na oś żyroskopu, da się rozłożyć na składowe  $S_1$  i  $S_2$ . Oczywiście precesję w tym wypadku wywołuje składowa  $S_1$ , natomiast  $S_2$  zostaje zrównoważona siłą oparcia osi żyroskopu (rys. 42).

Zachodzi oczywiście zależność:

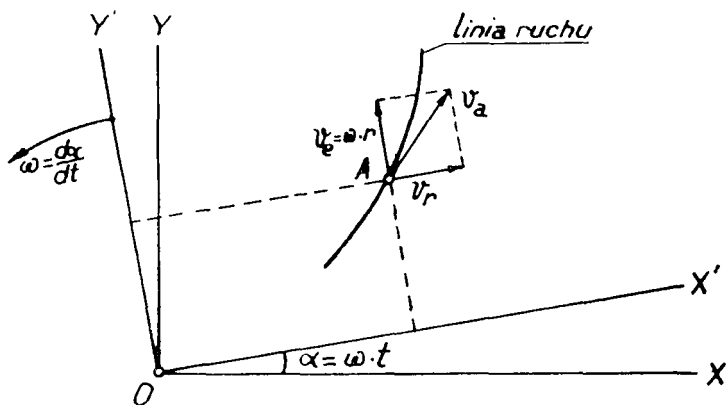
$$S_1 = S \sin \varphi,$$

$$S_2 = S \cos \varphi.$$



Rys. 42

Z teoretycznej mechaniki wiadomo, że jeśli punkt  $A$  jest w ruchu w stosunku do układu współrzędnych  $X'OY'$  i ponadto układ  $X'OY'$  porusza się względem układu  $XOY$ , to punkt  $A$  w stosunku do układu



Rys. 43

$XOY$  otrzymuje dodatkowe przyspieszenie tzw. przyspieszenie Coriolisa (rys. 43).

Jeśli więc punkt  $A$  ma ruch postępowy zgodny z kierunkiem  $OX'$  z szybkością  $v_r$  (lub ruch obrotowy — precesję w żyroskopie), a linia  $OX'$

posiada obrót z szybkością kątową  $\omega$  (lub szybkość liniowa  $v_e$  w punkcie  $A$ ) to szybkość absolutną punktu w danym momencie  $dt$  określimy wektorem  $v_a$ . W każdym następnym momencie szybkość  $v_a$  będzie wzrastać. Przyspieszenie wzrośnie nie tylko wraz ze zmianą  $v_e$  i  $v_r$ , lecz również na skutek zwiększenia się promienia  $r$ , i wobec tego istnieje dodatkowe przyspieszenie powstające przy obrocie z prędkością kątową  $\omega$ , a jak wiadomo:

$$v_e = \omega \cdot r,$$

wobec tego przyspieszenie będzie funkcją nie tylko przyspieszeń ruchów  $v_r$  i  $\omega$  lecz również i  $r$ :

$$a = f(v_r, \omega, r).$$

To dodatkowe przyspieszenie Coriolisa stwarza odpowiednie siły inercji, które dla przeciwnych, symetrycznych punktów rotora tworzą moment żyroskopowy:

$$M_z = I \Omega \omega \sin \alpha,$$

gdzie:  $\alpha$  — kąt między osią rotora i osią precesji.

Dla żyroskopu astatycznego  $\alpha = 90^\circ$  oraz:

$$M_z = I \Omega \omega.$$

- $I$  — kinetyczny moment bezwładności (inercji) rotora, zależny od jego masy, formy i rozmiarów,
- $\Omega$  — szybkość kąтова obrotu rotora,
- $\omega$  — szybkość kąтова obrotu precesji.

Niech więc, jak wskazuje rys. 44 w początkowej chwili oś rotora żyroskopu jest pozioma, a dwa pierścienie Cardana są nieruchome. Rotor obraca się z prędkością  $\Omega$  dookoła swej osi.

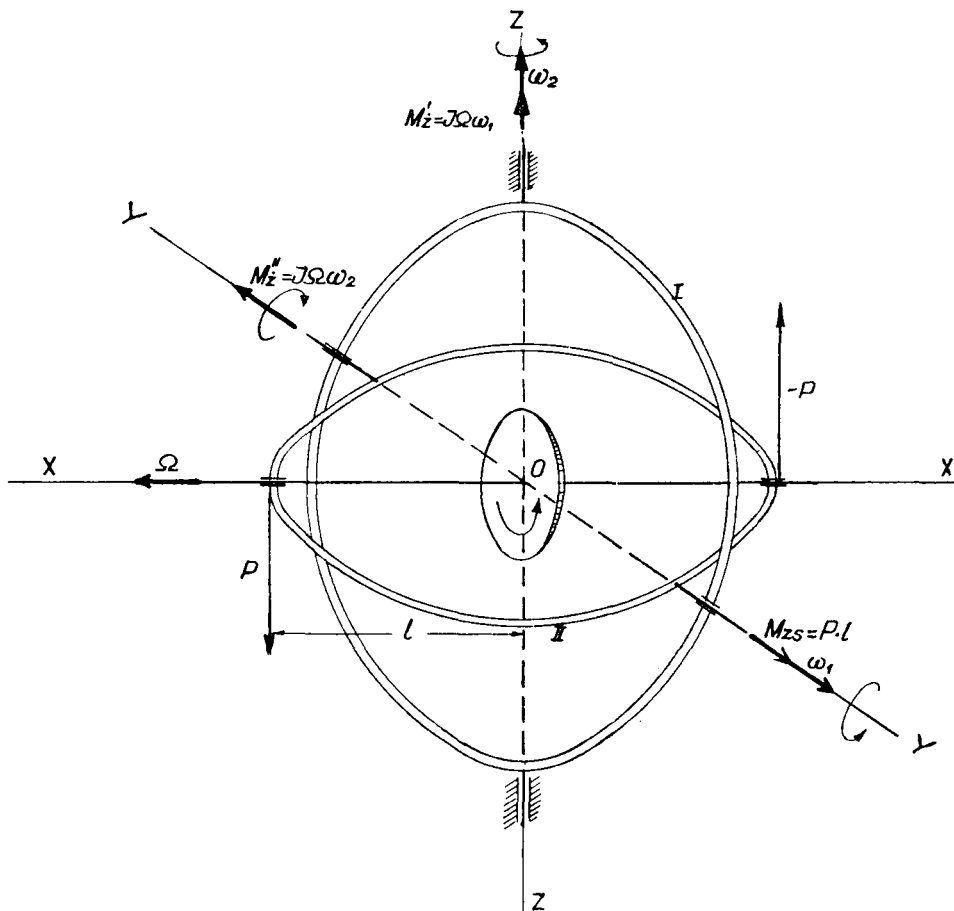
Do wewnętrznego pierścienia Cardana przykładamy moment sił zewnętrznych  $M_{zs} = P \cdot l$ . Wówczas w pierwszym momencie powstaje przyspieszony obrót ( $\omega_1$ ) pierścienia wewnętrznego lewy koniec osi rotora pójdzie do dołu. Na skutek tego ruchu z prędkością  $\omega_1$ , powstaje moment żyroskopowy  $M'_z = I \Omega \omega_1$  dookoła osi  $OZ$  (zgodnie z regułą śruby), który z kolei wywoła przyspieszony obrót pierścienia zewnętrznego z prędkością kątową  $\omega_2$ . Ta druga precesja  $\omega_2$  wywoła drugi wzrastający żyroskopowy moment  $M''_z = I \Omega \omega_2$  dookoła osi  $OY$ , skierowany przeciw działaniu momentu sił zewnętrznych  $M_{zs}$ .

Wszystkie rozważania są tu prowadzone w zastosowaniu do prawoskrętnego układu współrzędnych. Wektor  $\Omega$  jest tu swego rodzaju wskazówką pokazującą kierunek obrotu całego żyroskopu.

Początkowo pod wpływem działania pary sił zewnętrznych  $P, -P$  powstaje dodatkowy moment pędu, który (stosując regułę śruby) kieruje



wektor  $\Omega$  w naszą stronę w płaszczyźnie XOY, następuje obrót dookoła osi OZ. Ten obrót (dookoła osi OZ) pokazany na rysunku strzałką, stwarza moment  $M'_z$  i znowu, stosując regułę śruby, w wyniku momentu  $M'_z$  powstaje moment  $M''_z$ , który kieruje wektor  $\Omega$  do góry, a więc przeciwny sile zakłócającej P.

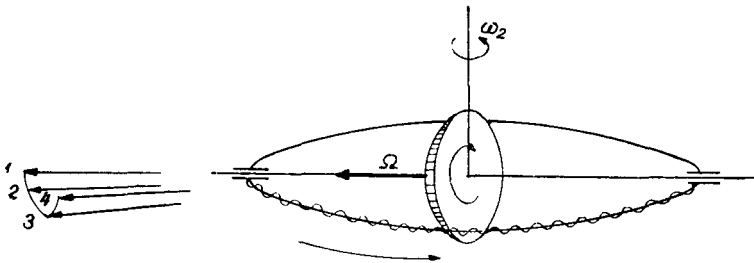


Rys. 44

Początkowo istnieje zależność:  $M_{zs} > M''_z$  wskutek czego w poszczególnych momentach czasu wielkość  $\omega_1$  rośnie, a za jej pośrednictwem rośnie  $\omega_2$  i  $M'_z$  a również  $M''_z$  (oczywiście mówi się tu o krótkotrwałym działaniu siły P). Gdy  $M''_z \geq M_{zs}$ , kątowna prędkość  $\omega_1$  zaczyna zmniejszać się, zachowując jednak swój kierunek, a moment żyroskopowy  $M'_z$ , malejąc co do wielkości, zachowuje swój znak; zwiększa się jeszcze szyb-

kość  $\omega_2$  i moment  $M_z''$ . Gdy nastąpi moment kiedy  $\omega_1 = 0$  ( $M_z'' > M_{zs}$ ) to szybkość  $\omega_2 = maximum$ . Pod wpływem  $M_z''$  oś rotora zaczyna podnosić się ruchem przyśpieszonym i  $\omega_1$  zmienia kierunek. Ze zmianą znaku  $\omega_1$  zmienia znak i moment  $M_z'$ , wskutek czego zaczyna zmniejszać się szybkość  $\omega_2$ , nie zmieniając swego kierunku. Zmniejsza się moment  $M_z''$ . Póki  $M_z'' > M_{zs}$  oś rotora podnosi się ruchem przyśpieszonym; szybkość  $\omega_1$  i moment żyroskopowy  $M_z'$  wzrasta (w odwrotnym kierunku w stosunku do początkowego), a prędkość  $\omega_2$  i moment żyroskopowy  $M_z''$  zmniejsza się. Gdy znowu  $M_z''$  staje się mniejszy od  $M_{zs}$  ( $M_z'' < M_{zs}$ ), to prędkość  $\omega_1$  i moment  $M_z'$  zmniejsza się; przy tym trwa zmniejszanie się szybkości  $\omega_2$  i momentu  $M_z''$ . Ruch obu pierścieni Cardana zmniejsza się tak długo dopóki obie prędkości kątowe  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  i momenty żyroskopowe  $M_z'$ ,  $M_z''$  nie będą równe zero. Od tego momentu cykl zaczyna powtarzać się w tej samej kolejności. Każdy cykl mieści się w małym odcinku czasu. Obroty osi żyroskopu w okresie każdego cyklu są minimalne. To zjawisko trwa bez przerwy (cyklami) tak długo, dopóki działa moment sił zewnętrznych  $M_{zs}$ . Z ustaniem działania  $M_{zs}$  zanika precesja i moment żyroskopowy.

Prędkość kątowa  $\omega_2$  nie zmienia swego kierunku i w każdym cyklu obraca pierścień zewnętrzny z całym żyroskopem o kąt, nazwijmy go  $\alpha$ . Na tym polega precesja żyroskopu. Pod wpływem opisanych czynników koniec osi żyroskopu opisuje drobną spiralę w ogólnym kierunku precesji (rys. 45). Te małe, stożkowate wahania osi żyroskopu wywołane



Rys. 45

jego efektami inercyjnymi nazywają się wahaniami nutacyjnymi. Są one bardzo małe i praktycznie toleruje się je, tym bardziej że szybko gasną pod wpływem tarcia w osiach.

Pomijając nutację można cały proces cyklu ruchów wywołanych przez moment sił zewnętrznych  $M_{zs}$  rozpatrywać jako precesję z pręd-

kością kątową  $\omega_2$ , która stwarza moment żyroskopowy  $M_z''$ , gaszący działanie momentu sił zewnętrznych. A więc moment żyroskopowy równa się momentowi sił zewnętrznych i skierowany jest w przeciwnym kierunku, tj. niweczy go.

$$M_z = -M_{zs}$$

Jeżeli moment  $M_{zs}$  jest stały i przyłożony do pierścienia wewnętrznego (jak na rys. 44), to precesji podlega pierścień zewnętrzny Cardana z całym żyroskopem i średnia prędkość kątowa precesji  $\omega_2$  jest stała. Jeżeli moment  $M_{zs}$  przyłożony jest do pierścienia zewnętrznego to podlega precesji wewnętrzny pierścień z rotorem. Przy tym prędkość kątowa  $\omega_2$  wzrasta wraz ze zbliżeniem się osi rotora do osi pierścienia zewnętrznego, a przy koincydencji tych osi żyroskop wogóle traci stateczność, przekształcając się z 3-stopniowego w 2-stopniowy żyroskop.

Ze wzoru:

$$M_z = I \Omega \omega,$$

otrzymujemy:

$$\omega = \frac{M_z}{I \Omega}$$

i wiedząc, że zachodzi zależność  $M_z = -M_{zs}$ , mamy:

$$\omega = -\frac{M_{zs}}{I \Omega}$$

W ciągu krótkiego interwału czasu ( $\tau$ ) działania momentu  $M_{zs}$  (np. uderzenie) oś żyroskopu podlega precesji o kąt  $\alpha = \omega \cdot \tau$ , tj.:

$$\alpha = -\frac{M_{zs} \cdot \tau}{I \Omega}.$$

Na podstawie otrzymanego wzoru widać, że prędkość kątowa precesji ( $\omega$ ) i kąt obrotu osi żyroskopu ( $\alpha$ ) jest tym mniejszy, im większa jest prędkość kątowa obrotu rotora ( $\Omega$ ) i wielkość  $I$ .

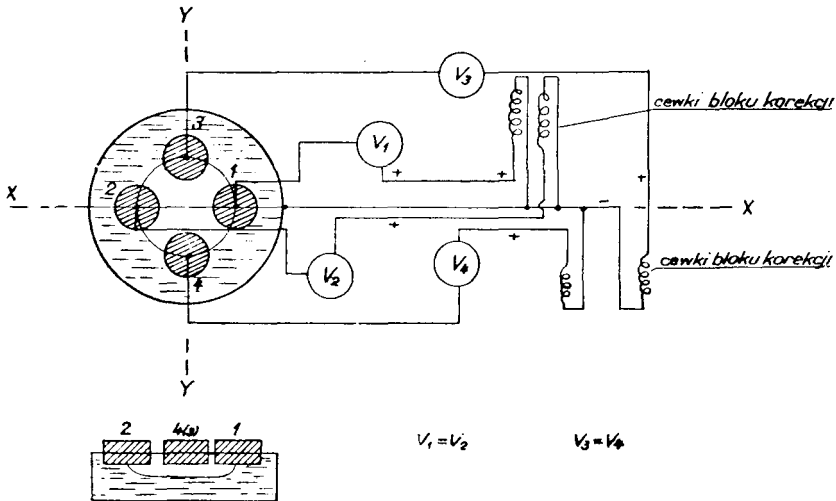
Na samolocie, w warunkach lotu, siły zewnętrzne działające na oś żyroskopu, są niewielkie, krótkotrwałe i przypadkowe, ponieważ są wywołane tylko tarciami w pierścieniach Cardana w czasie nachyleń samolotu lub niezrównoważeniem systemu, w szczególności przy oddziaływaniu przyspieszeń podczas skrętów samolotu i zmiany prędkości lotu. Dlatego podczas lotu położenie żyroskopu może być stateczne, a precesyjne odchylenie — małe.

### Korekcja żyroskopu

Na oś żyroskopu oddziałują siły tarcia w osiach, przyspieszenie samolotu, nierównowaga systemu, ruch Ziemi, ruch samolotu itp. Te czynniki sprawiają, że oś żyroskopu podlega precesji, odchylając się od zadanego położenia. Powstaje więc konieczność korekcji osi żyroskopu, tj. automatycznego sprowadzania jej do poziomu. Do tego celu służą tzw. korektory.

Zazwyczaj czułym elementem korektora jest okrągła libela elektrolityczna zawieszona pod osią motoru żyroskopowego (na wewnętrznym pierścieniu Cardana). Libela elektrolityczna jest to naczynie prawie w całości wypełnione cieczą przewodzącą prąd elektryczny. Na górnym denku znajdują się 4 kontakty. Ciecz zamyka obwód prądu zmiennego między ściankami naczynia i każdym kontaktem. W położeniu gdy oś libeli jest pionowa przez kontakty przepływa jednakowy prąd elektryczny. Libela połączona jest z motorami korekcyjnymi, które oddziałują na osie żyroskopu naprowadzając żyroskop do pionowego położenia.

Na rys. 46 przedstawiona jest libela elektrolityczna w takim położeniu, gdy jej oś jest pionowa.

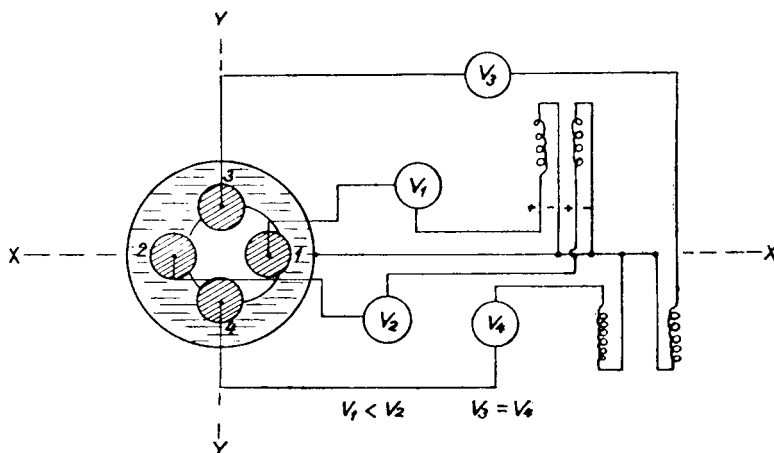


Rys. 46

Podczas nachylenia osi libeli, dookoła osi YY (rys. 47), występuje różnica potencjałów między obwodami:

- a) kontakt 1 — ścianka naczynia ( $v_1$ )
- b) kontakt 2 — ścianka naczynia ( $v_2$ )

Na kontaktach 3 i 4 siła prądu ulegnie również zmianie lecz napięcie na kontakcie 3 będzie równe napięciu na kontakcie 4. Różnica napięć między kontaktami 2 i 1 wywołuje pracę odpowiednich silników elektrycznych, które kierują osią libeli, i oś żyroskopu przechodzi w położenie



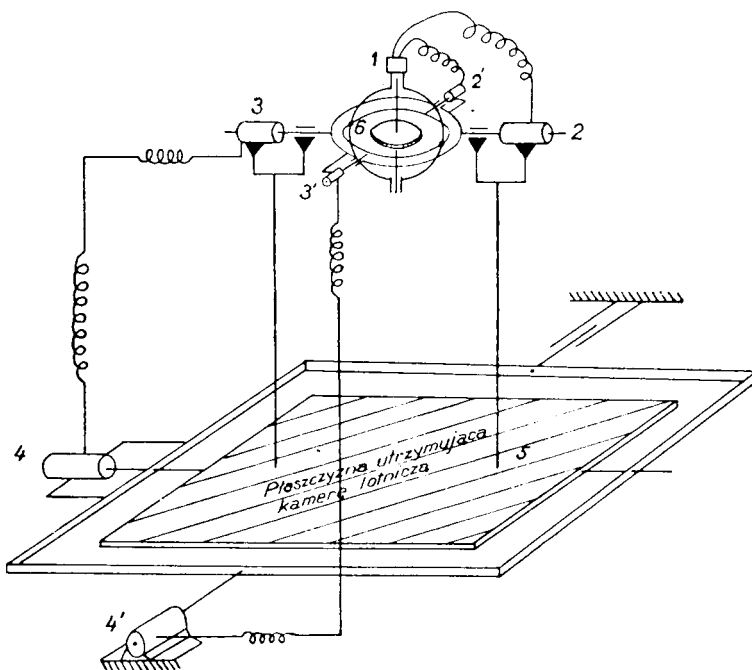
Rys. 47

pionowe. Kontakty 3 i 4 są podłączone do innego motoru, który obraca żyroskop dookoła osi XX. Jeśli nachylenie nastąpi dookoła innej linii przechodzącej przez środek układu współrzędnych, to korekcję wprowadzają dwa silniki jednocześnie (oczywiście w odpowiednim kierunku i w odpowiednim stopniu).

Przy nachyleniu osi żyroskopu i libeli o kąty mniejsze od  $15'$ , opór obwodów między ściankami naczynia libeli i każdym przeciwnym kontaktem zmienia się proporcjonalnie do wielkości kąta. Przy większym nachyleniu, gdy jeden z pary przeciwnych kontaktów pokryje się zupełnie cieczą elektrolityczną, a drugi nie pokryje się wcale, wspomniane opory pozostają bez zmian i szybkość precesji dla obu osi jest stała i równa się  $0^{\circ},1/\text{sek}$ . Szybkość precesji korygującej można zmniejszyć, wraz ze zmniejszeniem szybkości obrotu motorów części energetycznej, za pośrednictwem włączenia oporników. Na samolocie, pod wpływem wielu czynników, libela nie pokazuje rzeczywistego pionu lecz pion pozorny. Biorąc pod uwagę te czynniki, a więc przyspieszenie kątowe, liniowe i azymutalne, pion ustawia się wg wypadkowej siły ciężkości i siły inercji.

Najbardziej wygodną szybkością korygującej precesji jest szybkość rzędu  $1' - 2'$  na sekundę.

W celu utrzymania na samolocie osi kamery lotniczej w położeniu pionowym, od osi żyroskopu podaje się impulsy na osie pierścieni Cardana, na których zawieszona jest kamera lotnicza (rys. 48).



Rys. 48. 1 — korektor z elektrolityczną libelą, 2,2' — silniki korekcyjne, 3,3' — czułe elementy, potencjometry, kierujące pracą silników stabilizacji 4,4', które doprowadzają płytę 5 do położenia równoległego z pierścieniem 6

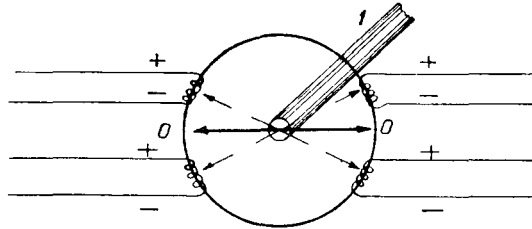
Impulsy są przekazywane za pośrednictwem czułych elementów, potencjometrów (rys. 49).

W czasie obrotu pierścieni żyroskopu obraca się jednocześnie oś potencjometru 1, wprowadzając odpowiedni prąd elektryczny (co do wielkości i kierunku) na silniki sterowania kamerą lotniczą (tzw. silniki stabilizacji). Po osiągnięciu poziomego położenia ramy utrzymującej kamerę lotniczą, silniki stabilizacji wyłączają się, ponieważ potencjometry ustawiły się w położeniu neutralnym  $OO$ .

Opisane tu urządzenia są to tzw. urządzenia stabilizujące, wskaźnikowe.

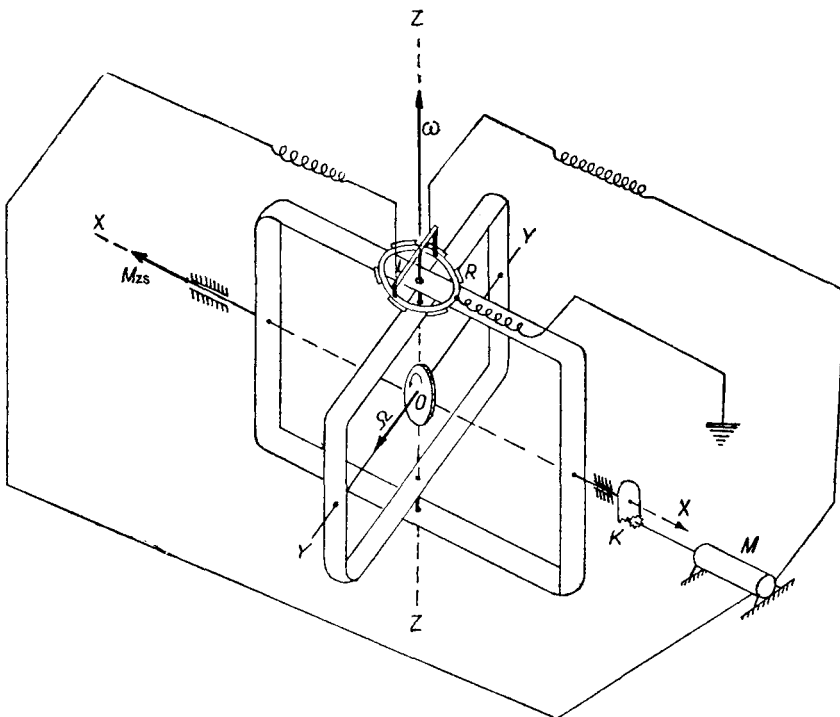
Drugim typem stabilizacji jest rama żyroskopowa (żyrorama) oparta też na zasadzie stabilizacji siłowej.

Na rys. 50 przedstawiona jest zasada działania tego typu urządzeń. Pod wpływem działania zewnętrznego momentu zakłócającego rama zewnętrzna utrzymuje się w zadanym położeniu, a wewnętrzna rama pre-



Rys. 49

cesjuje dookoła osi  $ZZ$  z szybkością kątową  $\omega$ , wzrastającą w miarę przybliżenia płaszczyzny ramy wewnętrznej do zewnętrznej. Na osi  $Z$  umiesz-



Rys. 50

czony jest wodzik  $L$ , który przesuwając się swoimi przeciwległymi końcami po okrągłym oporniku  $R$ , przekazuje napięcie prądu zasilającego motor stabilizacji  $M$ .

Gdy  $YY \perp XX$ , to napięcie na przeciwległych punktach kontaktu wozdika  $L$  z opornikiem  $R$  jest jednakowe i w obwodzie nie ma prądu. Wraz z powstaniem precesji razem z osią  $ZZ$  obraca się wozdik  $L$ , na kontaktach powstają różnice potencjałów i prąd wprawia w ruch silnik elektryczny. Różnica potencjałów i szybkość obrotów silnika wzrastają w miarę zwiększenia się kąta precesji. Znaki różnicy potencjału również zmieniają się w zależności od obrotu wozdika.

Za pośrednictwem reduktora  $K$  silnik nakłada na ramę zewnętrzną moment w kierunku przeciwnym momentowi zakłócającemu i likwiduje go. Lecz wozdik  $L$  jest obrócony przez powstałą precesję, wskutek czego obrót silnika trwa w tym samym kierunku i zmusza ramę wewnętrzną do precesji w przeciwnym kierunku, aż do położenia wyjściowego (gdy różnica napięć na końcach wozdika jest równa zero), i wówczas silnik przestaje pracować. Jeżeli moment zewnętrzny trwa, to proces opisany wyżej powtarza się.

Zewnętrzna rama w czasie trwania tego cyklu jest nieruchoma, jeśli nie brać pod uwagę jej wahań nutacyjnych.

W ten sposób z powstaniem momentu zakłócającego pracuje początkowo stabilizacja siłowa samego żyroskopu, tj. moment żyroskopowy. Powstała precesja włącza silniki stabilizacji, które nie tylko zmniejszają obciążenie ramy zewnętrznej, pomagając momentowi żyroskopowemu (co pozwala wykorzystywać żyroskop o stosunkowo małym momencie kinetycznym  $I$ ), lecz i likwidują obrót wewnętrznej ramy, zmuszając ją do precesji w odwrotnym kierunku do wyjściowego. Gdyby rama zewnętrzna nie była odciążona od momentu sił zewnętrznych (przez silnik  $M$ ), to — w wypadku długotrwałego działania momentu  $M_z$ , — precesja ramy wewnętrznej trwałaby dłużej i mógłby nastąpić taki moment, że oś  $YY$  pokryłaby się z osią  $XX$ . Wówczas żyroskop miałby 2 stopnie swobody i równowaga zostałaby zachwiana.

W żyroramach przyjęto nazywać oś  $XX$  zewnętrzną ramy — osią stabilizacji, a oś  $ZZ$  zewnętrzną ramy — osią precesji.

Charakterystycznym dla żyroramy jest to, że całe przeciążenie momentów zakłócających, działających na oś zawieszenia ramy zewnętrznej praktycznie obciąża nie żyroskop a motor stabilizacji.

Przewaga żyroram nad innymi systemami żyroskopowymi uwidacznia się w tym, że w stabilizacji siłowej zupełnie usuwa się wpływ tarcia i innych szkodliwych momentów działających na oś stabilizacji. Pozostaje jednak potrzeba zabezpieczenia minimalnego tarcia na osi precesji. Od wielkości momentu tarcia na osi precesji zależeć będzie dokładność stabilizacji ramy zewnętrznej.



Jak każdy żyroskop, żyrorama nie posiada zdolności dostosowania swej osi pionowej do linii pionu zmieniającego się miejsca położenia samolotu i w związku z tym wprowadza się urządzenie korygujące.

Powyższe omówienie urządzeń żyroskopowych, wprowadzie nie wyczerpuje całości tego zagadnienia, niemniej jednak pozwala w pewnym stopniu na zorientowanie się w tej dziedzinie techniki, co ułatwi zrozumienie opisu działania urządzenia żyroskopowego H-55, który ukaże się w II części artykułu w najbliższym z numerów „Prac IGiK”.

#### LITERATURA

- [1] *Konszyn M. D.*: Fotogrammetriczeskaja obrabotka girostabilizirowannyh aeroxnimkow. Trudy MIIGAiK wyp. 40, Moskwa 1960.
- [2] *Kożewnikow N. P., Kraszeninnikow G. D., Kalikow N. P.*: Fotogrammetrija. Moskwa 1960.
- [3] *Piasecki M. B.*: Fotogrametria, Warszawa 1958.
- [4] *Smirnow W. I.*: Wysszaja matiematika, t. II, Moskwa 1951.
- [5] *Szerszeń A. I.*: Aerofotosjomka, Moskwa 1958.
- [6] *Toroczko W. J.*: Liniejnyje uskorienija samolota i ich wlijanje na tocznost' raboty girowiertikali s majatnikowej korrakcej. Trudy MIIGAiK wyp. 44, Moskwa 1961.
- [7] *Westphal W.*: Fizyka, cz. I, Warszawa 1950.
- [8] *Primienijemyje metody opriedielenija w palotie elementow wnieszniowo orientirowanija.* Trudy CNIIGAiK wyp. 129, Moskwa 1959.

*Rękopis złożono w Redakcji w lipcu 1962 r.*

*ЧЕСЛАВ ЛИПЯНИН*

ГИРОСКОПИЧЕСКИЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ОТВЕСНОЙ  
УСТАНОВКИ ОПТИЧЕСКОЙ ОСИ АЭРОФОТОКАМЕРЫ

Опираясь на приведенной литературе изложен принцип работы гироскопа как вспомогательного приспособления для удерживания оптической оси камеры в отвесном положении во время полета. Изложены тоже общие принципы теории гироскопа и работа коррекционных приспособлений.

*CZESŁAW LIPIANIN*

A GYROSCOPIC DEVICE FOR VERTICAL POSITIONING  
OF THE OPTICAL AXIS AN AERIAL PHOTOCAMERA

The principles of the gyroscopes, used as auxiliary devices for the vertical keeping of the camera's optical axis during the flight are here described according to the cited literature. General principles of the gyroscopes and the work of correcting devices are also dealt with.

## SPIS TREŚCI

### STANISŁAW DMOCHOWSKI

- Nowa metoda zewnętrznej orientacji pary zdjęć lotniczych na autografach typu Wild A8 . . . . . 3

### TADEUSZ WYRZYKOWSKI

- Sposoby geodezyjnego wyznaczania współczesnych ruchów pionowych skorupy ziemskiej . . . . . 25

### JERZY GAŹDZICKI

- Transformacja Helmerta przy różnej dokładności położenia punktów dostosowania . . . . . 42

### WOJCIECH JANUSZ

- Próby opracowania metody pomiaru odkształceń wydłużonych budowli przy wykorzystaniu ciągów poligonowych i specjalnej aparatury pomiarowej . . . . . 53

### JÓZEF CHWAŁEK

- Analiza zniekształcenia bazy początkowej odcinka triangulacji radialnej spowodowanego błędną identyfikacją jednego z fotopunktów grupy 76

### KRZYSZTOF HOLEJKO

- Elektroniczny odległościomierz geodezyjny KG . . . . . 96

### CZESŁAW LIPIANIN

- Urządzenia żyroskopowe utrzymujące w pionie oś optyczną kamery lotniczej . . . . . 117

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

### СТАНИСЛАВ ДМОХОВСКИ

Новый метод внешнего ориентирования пары аэроснимков на авто-  
графах типа Вильд А8 . . . . . 3

### ТАДЭУШ ВЫЖИКОВСКИ

Способы геодезического определения современных вертикальных  
движений земной коры . . . . . 25

### ЕЖИ ГАЗЬДЗИЦКИ

Преобразование Гельмерта для опорных точек различной точности . . . . . 42

### ВОЙЦЕХ ЯНУШ

Опыт разработки метода измерения деформации длинных сооруже-  
ний при использовании полигонометрических ходов и специальной  
измерительной аппаратуры . . . . . 53

### ЮЗЭФ ХВАЛЭК

Анализ деформации первого базиса отрезка радиальной триангуляции  
вызванной ошибочным идентифицированием одного из опознаков  
группы . . . . . 76

### КШИШТОФ ХОЛЕЙКО

Геодезический радиодальномер типа КГ . . . . . 96

### ЧЕСЛАВ ЛИПЯНИН

Гироскопические приспособления для отвесной установки оптиче-  
ской оси аэрофотокамеры . . . . . 117

## CONTENS

### STANISŁAW DMOCHOWSKI

- A new method of absolute orientation of aerial stereograms for the autographs of Wild A8 type . . . . . 3

### TADEUSZ WYRZYKOWSKI

- The methods of geodetic determination of the recent vertical movements of the Earth's crust . . . . . 25

### JERZY GAŹDZICKI

- Helmert's transformation with control points of unegual accuracy . . . 42

### WOJCIECH JANUSZ

- Experiments concerning elaboration of methods for measurements of deformations of allonged constructions by use of traverses and special measuring devices . . . . . 53

### JÓZEF CHWAŁEK

- The analysis of deformations of the initial basis in a section of the radial triangulation due to the false identification of one of the control points in a group . . . . . 76

### KRZYSZTOF HOLEJKO

- Electronic distance-meter for geodetic applications type KG . . . . 96

### CZESŁAW LIPIANIN

- A gyroscopic device for vertical positioning of the optical axis of an aerial photcamera . . . . . 117