

MIECZYŚLAW KOŁODZIEJCZYK

POCHYŁOMIERZ GRAWITACYJNY KWARCOWY

ZARYS TREŚCI: Omówiono budowę oraz zasadę działania pochyłomierza kwarcowego. Przedstawiono także wyniki badań rezonatorów kwarcowych wykonanych w Instytucie Tele i Radiotechniki oraz wstępne wyniki badań pochyłomierza kwarcowego wykonane w Instytucie Geodezji i Kartografii.

1. WSTĘP

W Dziale Mechaniczno-Konstrukcyjnym Instytutu Geodezji i Kartografii od wielu lat powstają projekty oraz jest wykonywana aparatura do pomiaru przemieszczeń i odkształceń obiektów hydrotechnicznych.

W ostatnim okresie opracowano i wykonano skomputeryzowany system do zdalnego, automatycznego pomiaru parametrów niezbędnych do wyznaczania przemieszczeń i odkształceń różnych obiektów.

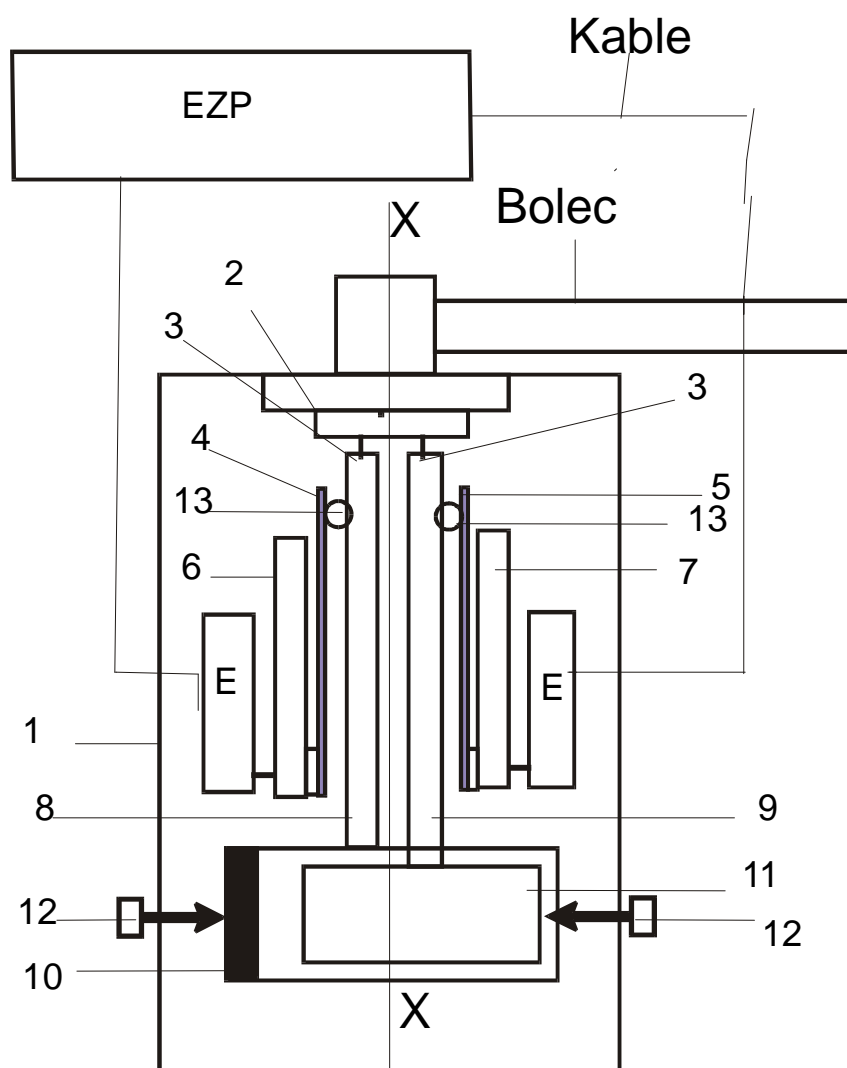
System umożliwia jednoczesny pomiar pochyleń, przemieszczeń liniowych oraz temperatury wybranych fragmentów badanego obiektu.

Przyrządy pracujące w wymienionym systemie są przyrządami strunowymi. Jednym z najważniejszych przyrządów pomiarowych pracującym w takim systemie jest pochyłomierz.

W istniejących automatycznych systemach pomiarowych do rejestracji pochyleń stosuje się pochyłomierze strunowe i hydroniwelatory ultradźwiękowe. Obecnie przystąpiono do opracowania i wykonania nowego modelu grawitacyjnego pochyłomierza kwarcowego, z myślą o zastosowaniu go w skomputeryzowanych systemach pomiarowych. Na potrzeby pochyłomierza kwarcowego zostały zaprojektowane i wykonane w Instytucie Tele i Radiotechniki w Warszawie specjalne rezonatory kwarcowe, które umożliwiają uzyskiwanie dużych zmian częstotliwości przy bardzo małych zmianach naprężenia. Zmiany częstotliwości uzyskuje się nie przez ściskanie kwarcu – jak dotychczas – lecz w wyniku jego zginania.

Wyniki badań rezonatorów kwarcowych, modelu pochylomierza kwarcowego oraz wnioski wynikające z tych badań przedstawiono w niniejszym artykule.

2. BUDOWA POCHYŁOMIERZA KWARCOWEGO



Rys. 1. Pochylomierz kwarcowy

Pochyłomierz kwarcowy (rys. 1) składa się z dwóch wahadeł **8** i **9** i dwóch rezonatorów kwarcowych **4** i **5** z układami elektronicznymi. Wahadła poprzez zawieszki **3** i wieszak **2** połączone są z górną częścią korpusu **1**, natomiast rezonatory są wklejone w specjalne oprawki **6** i **7**, które poprzez wsporniki są zamocowane przesuwnie do korpusu.

Przesuwne zamocowanie rezonatorów kwarcowych umożliwia takie ich usytuowanie względem wahadeł, które odpowiada środkowi zakresu pracy rezonatora przy korpusie ustawionym na poziomej płycie i przy pionowym usytuowaniu wahadeł. Rezonatory kwarcowe stykają się z wahadłami poprzez kulki. Zmiana położenia oprawek z rezonatorami względem wahadeł wpływa na zmianę naprężenia rezonatorów i jednocześnie na zmianę ich częstotliwość drgań.

Wahadła zakończone są obciążnikami **10** i **11**, których specjalna konstrukcja umożliwia umieszczenie jednego obciążnika w drugim. Opisana konstrukcja wahadeł z obciążnikami umożliwia unieruchomienie wahadeł w stosunku do korpusu i rezonatorów kwarcowych. Pozycję taką otrzymujemy przez wkręcenie do oporu wkrętów aretujących **12**.

3. OPIS CZUJNIKA KWARCOWEGO

W opisywanym pochyłomierzu kwarcowym zastosowano czujnik z rezonatorem akustycznej fali powierzchniowej AFP. Czujnik został wykonany w kształcie płytki o wymiarach 50x6,5x0,5 mm i wklejony jednym końcem do specjalnej oprawki. Kształt i sposób zamocowania sprawia, że płytkę kwarcową przy obliczeniach możemy traktować jako belkę zamocowaną jednostronnie (rys. 2), której naprężenia przy powierzchni belki określa wzór.

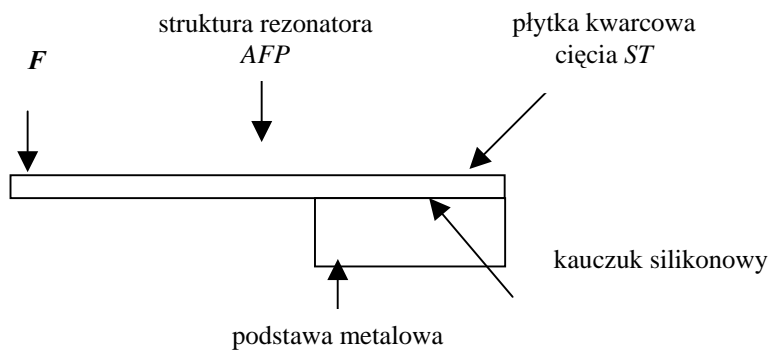
$$T_{11} = \frac{6FL}{w(2h)^2}$$

gdzie: F - siła działająca, L - długość belki, w - szerokość belki, h - grubość belki.

Zmiana częstotliwości rezonatora AFP w funkcji naprężeń w płycie jest proporcjonalna do tych naprężeń wg zależności:

$$\frac{\Delta F}{F_0} = {}^s\alpha_{11}T_{11}$$

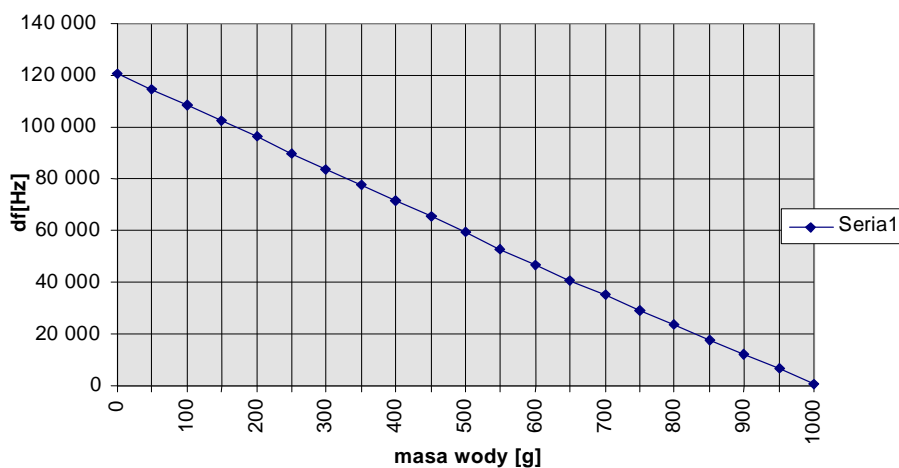
gdzie: ${}^s\alpha_{11}$ - współczynnik czułości.



Rys. 2. Czujnik kwarcowy

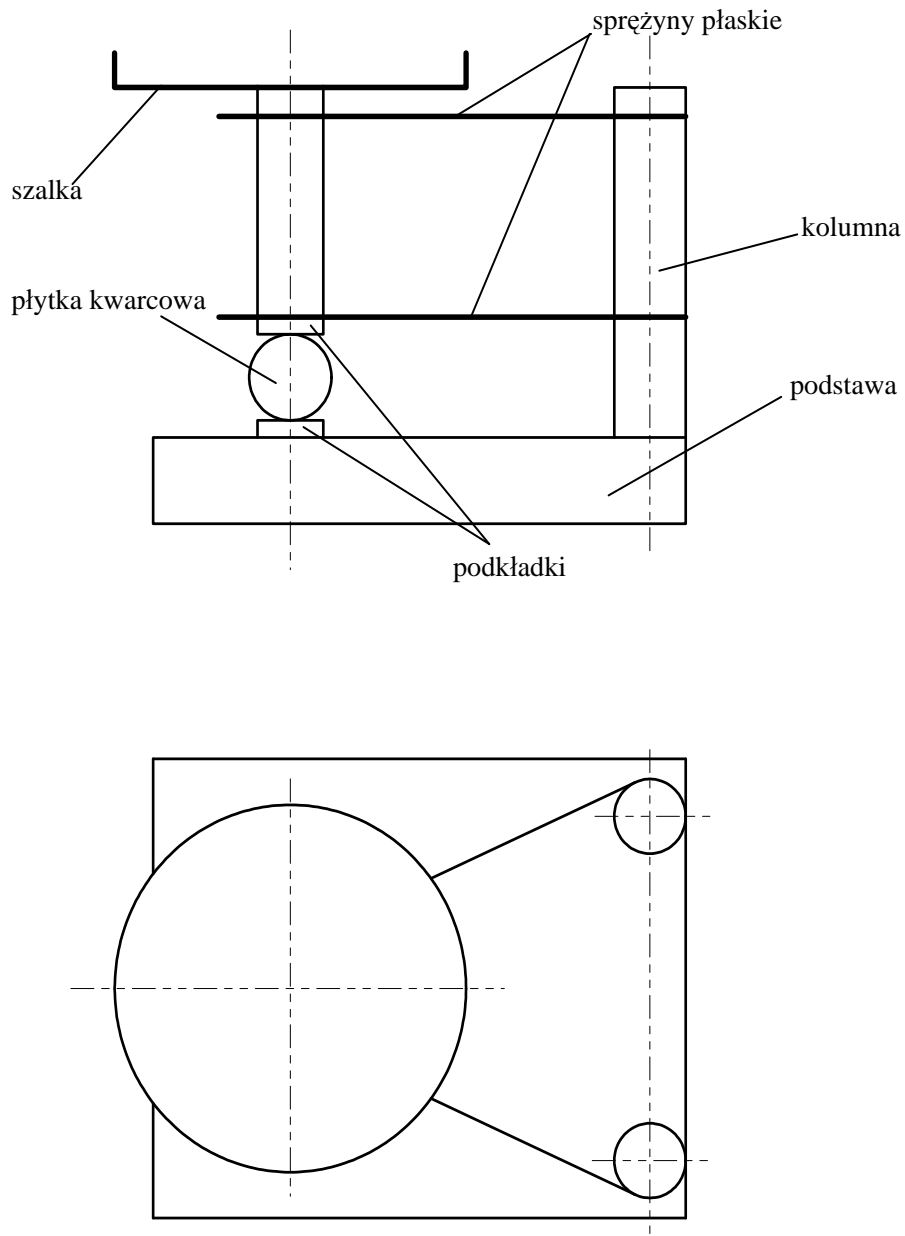
W Instytucie Tele i Radiotechniki wykonano badania czujnika, w którym wykorzystano płytkę kwarcową cięcia *ST* ze strukturą rezonatora *AFP*. Płytkę o wymiarach 23x6,5x1 mm była przyklejona do podstawy klejem kauczukowym. Badania wykazały, że czułość takiego czujnika wynosi ok. 120Hz/G, a maksymalne obciążenie płytki wynosiło 1000 G.

Wyniki badań przedstawiono na wykresie.



Rys. 3. Charakterystyka czujnika obciążanego wodą

W Instytucie Tele i Radiotechniki wykonano specjalny przyrząd (rys. 4), który posłużył do wykonania powyższych badań wpływu nacisku na częstotliwość drgań rezonatora.



Rys. 4. Schemat przyrządu do badania charakterystyki czujnika siły

Na podstawie opisanych badań dla modelu pochylomierza kwarcowego opracowanego w IGIK wykonano płytki kwarcowe cięcia *ST* o zmodyfikowanej orientacji ($Q = 39^\circ 37'$) i wymiarach $50 \times 6,5 \times 0,5$ mm oraz $50 \times 6,5 \times 0,3$ mm.

Tak wykonane płytki kwarcowe, zostały poddane obróbce szlifowania i trawienia w nasyconym roztworze kwaśnego fluorku amonu o temperaturze 50°C , a następnie wypolerowane jednostronnie. Na płytkach wykonano fotolitograficznie struktury rezonatorowe o częstotliwości 165 MHz. Rezonatory kwarcowe o przedstawionych powyżej parametrach powinny cechować się czułością ok. 700 Hz/G.

4. ZASADA DZIAŁANIA POCHYŁOMIERZA KWARCOWEGO

Pochylomierze służą do pomiaru zmian nachylenia badanego obiektu. Każda zmiana nachylenia obiektu powoduje odchylenie bolca stabilizacyjnego, a tym samym i korpusu przyrządu pomiarowego, który jest do tego bolca przymocowany.

Odchylenie korpusu powoduje takie samo odchylenie oprawek z rezonatorami kwarcowymi w stosunku do wahadeł, które dążą do zachowania pozycji pionowej i wywierają poprzez kulki nacisk na końce rezonatorów kwarcowych.

Każda zmiana nacisku na rezonatory kwarcowe powoduje zmianę ich naprężenia, a tym samym zmianę ich częstotliwości drgań. Rezonatory są pobudzane do drgań przez układy elektroniczne umieszczone w pobliżu tych rezonatorów.

Jeżeli w omawianym pochylomierzu rośnie częstotliwość drgań jednego rezonatora, to na drugim rezonatorze częstotliwość drgań maleje. Z tego powodu rezonatory powinny być tak ustawione, aby w pozycji pionowej płaszczyzny XX i wahadeł wskazywały jednakową wartość i były w środkowym zakresie pomiarowym.

Zastosowanie dwóch kanałów umożliwia pomiar metodą różnicową, co dwukrotnie zwiększa czułość i częściowo kompensuje zmiany temperatury w środkowym zakresie pomiarowym.

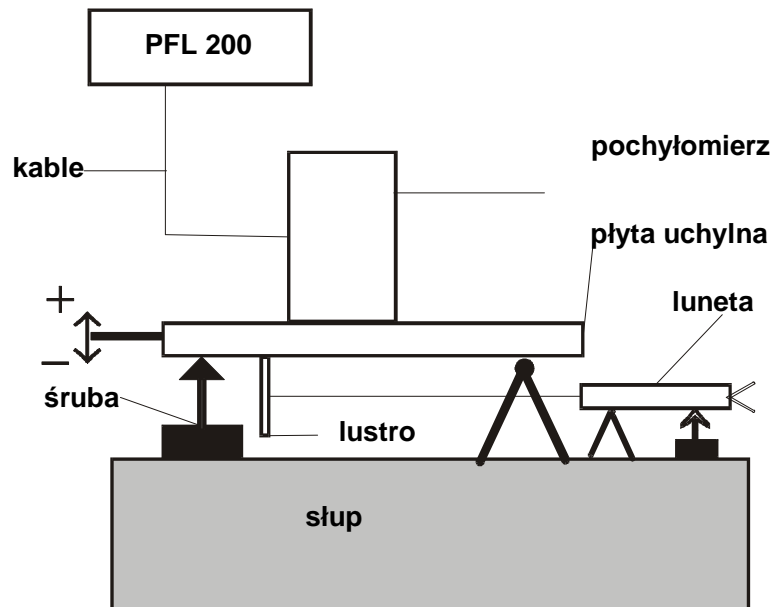
Częstotliwości drgań rezonatorów kwarcowych będą transmitowane kablami do EZP elektronicznego zespołu pomiarowego, gdzie nastąpi przeliczenie tych częstotliwości na żądane jednostki kątowe (minuty, sekundy) i zapisanie w specjalnym programie pomiarowo-wizualnym wraz z datą i czasem dokonanego pomiaru.

Zastosowane przy budowie pochylomierza rezonatory kwarcowe są płytkami płasko-równoległymi o grubości 0,5 mm, czułymi na bardzo gwałtowne zmiany naprężeń, znacznie przekraczających zakresy pomiarowe. W konstrukcji pochylomierza przewidziano mechaniczne ograniczenie ruchu wahadeł, nieznacznie przekraczające zakres pomiarowy.

Ograniczniki te po wkręceniu do oporu zostały jednocześnie wykorzystane do unieruchomiania wahadeł w stosunku do korpusu i rezonatorów przy demontażu przyrządu i na czas transportu.

5. WSTĘPNE WYNIKI BADAŃ POCHYŁOMIERZA KWARCOWEGO WYKONANE W INSTYTUCIE GEODEZJI I KARTOGRAFII

Badania zostały przeprowadzone na stanowisku do sprawdzania pochyłomierzy grawitacyjnych (rys. 5). Celem badań było określenie czułości i powtarzalności drgań rezonatorów kwarcowych zastosowanych do budowy modelu pochyłomierza.



Rys. 5. Schemat stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze służące do badań pochyłomierzy składa się z uchylnej płyty i lunety autokolimacyjnej, umieszczonych na słupie pomiarowym. Do płyty przymocowane jest lustro, którego oś pokrywa się z osią optyczną lunety. Płyta może być odchylana od poziomu śrubą ustawczą w zakresie kilku stopni i odchylenia te są kontrolowane lunetą autokolimacyjną.

Na górnej powierzchni płyty został zamocowany badany pochyłomierz, który odchylano skokowo przez wkręcanie lub wykręcanie śruby ustawczej co 300 sek.

Wraz z uchylaniem płyty odchyłał się także przymocowany do niej korpus pochylomierza, a zawieszona na zawieszkach wahadła dążyły do ustawienia się w pozycji pionowej powodując zmianę nacisku kulek na rezonatory kwarcowe.

Przy każdej zmianie pozycji płyty były rejestrowane zmiany częstotliwości drgań rezonatorów kwarcowych, odczytywane na częstotściomierzu PFL 200.

W sprawdzanym pochylomierzu kwarcowym w jednym kanale pomiarowym umieszczony był rezonator kwarcowy o grubości 0,3 mm, a w drugim kanale rezonator o grubości 0,5 mm.

Badanie takie miało na celu określenie czułości i histerezy badanych rezonatorów.

Wyniki badań kanału z rezonatorem kwarcowym 0,3 mm.

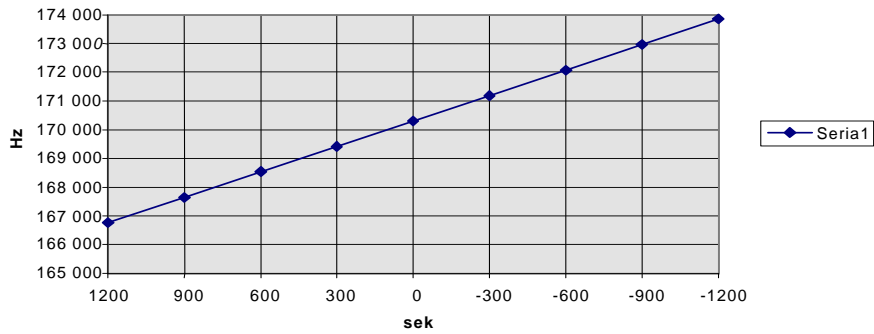
β /sek/	H1/Hz/	H2/Hz/	Histereza/Hz/
1200	165166760	165166765	-5
900	167643	167650	-7
600	168530	168539	-9
300	169415	169425	-10
0	170300	170312	-12
-300	171186	171198	-12
-600	172075	172084	-9
-900	172965	172970	-5
-1200	173855	173856	-1

W kolumnach, w których podano wyniki pomiaru częstotliwości uwzględniono tylko liczby znaczące dla pomiaru.

W przedstawionych tabelach w kolumnie pierwszej β pokazano zmianę położenia płyty stanowiska w sekundach.

W kolumnie H1 pokazano zmiany częstotliwości drgań rezonatora odpowiadające zmianom nachylenia płyty stanowiska w zakresie od 1200 sek. do -1200 sek.

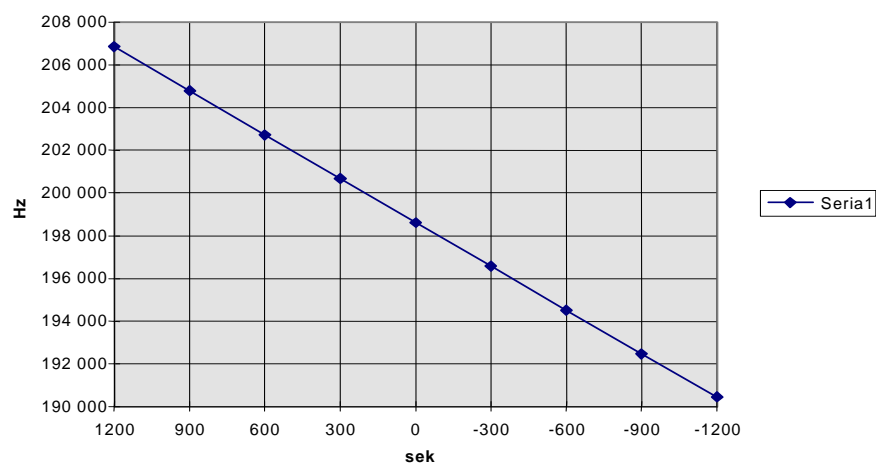
W kolumnie H2 pokazano zmianę częstotliwości drgań rezonatora dla zmian nachylenia płyty stanowiska w zakresie od - 1200 sek. do 1200 sek.



Rys. 6. Wykres badań rezonatora 0,3 mm

Wyniki badań kanału z rezonatorem o grubości 0,5 mm.

β /sek/	H1/Hz/	H2/Hz/	Histereza/Hz/
1200	165206856	165206854	2
900	204788	204798	-10
600	202732	202730	2
300	200675	200665	10
0	198615	198606	9
-300	196571	196559	12
-600	194512	194497	15
-900	192472	192453	19
-1200	190442	190443	-1



Rys. 7. Wykres badań rezonatora 0,5 mm

Z powyższych tabel oraz wykresów wynika, że czułość rezonatora o grubości 0,5 mm wynosi 6.8 Hz/sek. Natomiast dla rezonatora 0,3 mm czułość wynosi 2.95 Hz/sek.

Oznacza to, że czułość rezonatora o grubości 0,5 mm jest dwukrotnie większa od czułości rezonatora o grubości 0,3 mm.

Z wykresów widać, że zmiany częstotliwości drgań rezonatorów wynikających ze zmiany położenia płyty stanowiska badawczego są w przybliżeniu liniowe.

6. WNIOSKI KOŃCOWE

1. Na podstawie omawianych tu wstępnych badań stwierdzono, że czułość i dokładność rezonatorów kwarcowych są wystarczające do budowy przyrządu pomiarowego.
2. Należy wykonać badania charakterystyk i stabilności wskazań w dłuższym okresie i większym zakresie pomiarowym dla modelu pochyłomierza z rezonatorami o grubości 0,5 mm i 0,3 mm.
3. Trzeba wykonać badania termiczne modelu pochyłomierza kwarcowego.

LITERATURA

- [1] Janusz W., 1975, *Obsługa geodezyjna budowli i konstrukcji*. Warszawa PPWK.
- [2] *Katalog znaków i urządzeń pomiarowo kontrolnych do pomiaru przemieszczeń i odkształceń*. Warszawa, IGIK 1973.
- [3] *Pochyłomierz grawitacyjny*. Patent PL. Nr 169734 M. Smółka, M. Kołodziejczyk, W. Markowski, A. Skirmunt.
- [4] Smółka M., *Stanowisko do testowania i badania pochyłomierzy*. Materiały z konf. nauk.-techn. nt. „Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej.” Warszawa, 18–19 marca 1999.
- [5] Smółka M., 1994, *System do zdalnego, automatycznego pomiaru przemieszczeń i odkształceń dużych obiektów*. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Geodezja i Urządzenia Rolne XII nr 251.
- [6] Weiss K., 1999, *Próby wykorzystania rezonatorów kwarcowych objętościowych i z falą powierzchniową jako czujnika siły i ciśnienia*. Warszawa, Prace ITiR.

Recenzował: prof. zwyczaj. dr hab. inż. Wojciech Janusz

MIECZYŚLAW KOŁODZIEJCZYK

QUARTZ GRAVITATIONAL INCLINOMETER

S u m m a r y

Inclinometers are very important instruments in automatic measuring systems. Hence, quartz inclinometer was designed and constructed at the Institute of Geodesy and Cartography, in collaboration with the Institute of Tele and Radio Engineering.

The inclinometer consists of two pendula and two quartz-crystal resonators. Resonators change their oscillation frequency due to pushing by small balls placed in pendula.

Magnitude of stress is dependent on angle of inclination of frame, to which the resonators are attached, in relation to pendula.

The presented results of examination of the inclinometer with resonators, having different size: 50 x 6, 5 x 0,5 mm and 50 x 6, 5 x 0,3 mm revealed, that sensitivity of resonator with 0.5 mm thickness is 6.8 Hz/s, while resonator with 0.3 mm thickness gives precision of measurement 2,95 Hz/s. On the basis of preliminary examinations of model of quartz inclinometer it was found, that there is a chance to construct precise quartz inclinometer working in differential system. In order to do it, examinations on stability of characteristic in time and thermic studies are needed.

Translation: Zbigniew Bochenek

МЕЧИСЛАВ КОЛОДЗЕЙЧИК

ГРАВИТАЦИОННЫЙ КВАРЦЕВЫЙ ЭКЛИМЕТР

Р е з ю м е

Эклиметры являются очень важными приборами в автоматических измерительных системах. В связи с этим в Институте геодезии и картографии был запроектирован и изготовлен совместно с Институтом теле- и радиотехники кварцевый эклиметр.

Эклиметр состоит из двух маятников и двух кварцевых резонаторов. Резонаторы имеют свою частоту колебаний под влиянием нажима, производимого шариками, помещенными в маятниках.

Величина напряжения зависит от угла наклона корпуса, к которому прикреплены резонаторы, относительно маятников.

Представленные результаты исследования модели эклиметра с резонаторами размерами 50x6, 5x0,5 мм и 50x6, 5x0,3 мм показали, что чувствительность резонатора толщиной 0,5 мм составляет 6,8 Hz/сек., а резонатора толщиной 0,3 мм составляет 2,95 Hz/сек. Гистерезис обоих резонаторов имеет подобную величину. На основе предварительных исследований модели кварцевого эклиметра установлено, что существует шанс изготовления точного кварцевого эклиметра, работающего в дифференцированной системе. В связи с этим следует провести исследования относительно постоянности характеристики во времени, а также термические исследования.

Перевод: Роза Толстикова