

Mirosław CHUDEK, Stanisław SZYMA

TEORETYCZNE PODSTAWY DZIAŁANIA CZUJNIKÓW  
DO POMIARU ZMIAN ODKSZTAŁCEŃ I NAPRĘŻEŃ W GÓROTWORZE

Streszczenie. Podano teoretyczne podstawy budowy i działania czujników mechaniczno-magnetostrykcyjnych CHS do badania zmian naprężeń i odkształceń górotworu w otworach wiertniczych, a także opracowano ich konstrukcję.

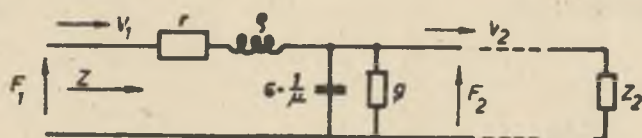
1. TEORETYCZNE PODSTAWY BUDOWY I DZIAŁANIA CZUJNIKA CHS-1 DO BADANIA ZMIAN ODKSZTAŁCEŃ GÓROTWORU

Czujnik mechaniczno-magnetostrykcyjny w wersji CHS-1 do pomiaru dynamicznych i statycznych zmian odkształceń wewnątrz obudowy posiada dwa rezonatory półfalowe sprzężone ćwierćfalowym odcinkiem falowodu, układ szczęk dociskowych oraz cewkę pobudzenia i odbioru drgań. Układ szczęk stanowi układ tłumienia drgań jednego z rezonatorów magnetostrykcyjnych. Tłumienie sprzężonych rezonatorów jest proporcjonalne do zmiany położenia szczęk.

Sprzężony rezonator magnetostrykcyjny składa się z dwóch prostokątnych rezonatorów półfalowych, sprzężonych ćwierćfalowym odcinkiem falowodu, przy czym ich rozmiary poprzeczne są znacznie mniejsze od długości. Podczas pomiaru zostają wzbudzone w układzie szczęk fale poprzeczne, spolaryzowane w płaszczyźnie sprzężonego rezonatora. Można znaleźć związek między amplitudą drgań sprzężonego rezonatora - przy rozchodzeniu się fali płaskiej wzdłuż niego i warunkami granicznymi, wywołanymi sąsiedztwem szczęk.

Dla prostoty rachunku założymy, że czas trwania impulsu pobudzenia rezonatora będzie znacznie dłuższy od czasu przejścia impulsu wzdłuż falowodu o skończonej długości. Nastąpi w tym przypadku nakładanie się fali odbitej od końca falowodu i fali padającej, co prowadzi do powstania fali stojącej w falowodzie. Zależności z tym związane można stosunkowo prosto opisać posługując się elementarnym modelem czwórnikowym ośrodka w kierunku rozchodzenia się fali (rys. 1).

Jako wielkość charakterystyczna przyjęto gęstość ośrodka oraz jego podażność  $\tilde{\sigma} = \frac{1}{\mu}$  oraz stałe  $r$  i  $g$ , związane z tarciem wewnętrznym i tłumieniem fal w ośrodku.



Rys. 1. Elementarny czwórnikowy model ośrodka dla propagacji fali akustycznej

- stała ścinania prądkami, cząsteczkowe układu,  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $Z_2$  - impedancja falowa,  $F_1$  - siła wywołana falą padającą,  $F_2$  - siła wywołana falą odbijającą

Przyjmując następujące analogie:

napięcie  $U$  -  $F$  - siła  
prąd  $i$  -  $v$  - prędkość

możemy adaptować równanie dla linii jednorodnej o stałych rozłożonych [6] mianowicie:

$$\left. \begin{aligned} F &= \frac{F_1 + ZV}{Z} (e^{\gamma y} + u e^{-\gamma y}) \\ v &= \frac{F_1 + ZV}{Z} (e^{\gamma y} - u e^{-\gamma y}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

przy czym  $Z$  jest impedancją falową ośrodka określoną zależnością:

$$Z = \sqrt{\frac{Z_S Z_R}{g}} = \sqrt{\frac{r + j\omega L}{g + j\omega C}} = R + jX,$$

gdzie:

- $X$  - stała urojona impedancji falewej,
- $R$  - stała rzeczywiste impedancji falewej,
- $j$  - jednostka urojona,
- $\gamma$  - stała propagacji ośrodka

$$\gamma = \sqrt{\frac{Z_S}{Z_R}} = \sqrt{(r + j\omega L)(g + j\omega C)} = \alpha + j\beta, \quad (3)$$

gdzie:

- $\alpha, \beta$  - oznaczają odpowiednio współczynnik tłumienia i częstotliwość drgań tłumionych,
- $Z_S$  i  $Z_R$  - są odpowiednio impedancją szeregową i równoległą czwórnika dla częstotliwości kołowej  $\omega$ . Wielkość  $n$  jest współczynnikiem odbicia ośrodka i w ogólnym przypadku jest liczbą zespoloną.

Gdy fala poprzeczna pada prostopadle do powierzchni granicznej ośrodka współczynnik odbicia ciśnienia fali ( $n_G$ ) wyniesie:

$$n_G = \frac{F_2 - ZV_2}{F_2 + ZV_2} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = n_G e^{j(180^\circ - \phi)} \quad (4)$$

przy czym:

$Z_2$  - jest impedancją drugiego ośrodka (obciążenia),

$n_G$  - współczynnik odbicia.

Dobierając odpowiedni materiał na falowód możemy dla niezbyt wysokich częstotliwości drgań pominąć straty reprezentowane na oporze szeregowym  $r$  i upływnością  $g$  (rys. 1). W tym przypadku wzory (2) i (3) uprości się i otrzymamy:

$$Z = \sqrt{Z_0 Z_R} = \sqrt{\rho \cdot \mu} \quad (5)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{Z_0}{Z_R}} = j \cdot \omega \sqrt{\frac{\rho}{\mu}} \quad (6)$$

Z zależności (6) możemy wyznaczyć prędkość  $c$  rozchodzenia się fali w falowodzie:

$$c = \frac{\omega}{\beta} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (7)$$

Ponieważ znajdujemy straty w falowodzie, równanie hiperboliczne (2) możemy przedstawić w formie trygonometrycznej. W ten sposób wartość prędkości siły w dowolnym miejscu falowodu wyznaczają równania:

$$\left. \begin{aligned} V &= V_1 \cos \beta \cdot x + j \frac{F_1}{Z} \sin \beta x \\ F &= F_1 \cos \beta \cdot x + j V_1 Z \sin \beta x \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Jeżeli falowód o długości  $l$  jest obciążony na końcu (dla  $x = l$ ) opornością  $Z_2$ , to otrzymamy:

$$\left. \begin{aligned} V &= \frac{F_1}{2} \left[ \frac{Z_2 \cos \beta(1-x) + j Z_2 \sin \beta(1-x)}{Z_2 \cos \beta \cdot l + j Z \sin \beta \cdot l} \right] \\ F &= F_1 \left[ \frac{Z_2 \cos \beta(1-x) + j Z \sin \beta \cdot (1-x)}{Z_2 \cos \beta \cdot l + j Z \sin \beta \cdot l} \right] \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Równanie to można przekształcić do postaci wykładniczej, która jawniej przedstawia rozchodzenie się fali wzdłuż falowodu:

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{F_1}{2Z} \left( 1 + \frac{Z}{Z_2} \right) \left[ e^{j\beta(1-x)} - n_G e^{-j\beta(1-x)} \right] \\ F &= \frac{F_1}{Z} \left( 1 + \frac{Z}{Z_2} \right) \left[ e^{j\beta(1-x)} + n_G e^{-j\beta(1-x)} \right] \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

W każdym punkcie falowodu prędkość cząstki jest więc różnicą dwu nakładających się na siebie fal: fali bieżącej i fali odbitej od końca falowodu. Wielkość tej ostatniej jest określona współczynnikiem  $n_G$ , podanym zależnością (4). Impedancja wejściowa  $Z_1$  falowodu akustycznego będzie stosunkiem siły  $F$  do prędkości  $v$  cząstki w punkcie  $x = 0$ , czyli:

$$Z_1 = \frac{F}{v} = Z \left| \frac{1 + j \frac{Z}{Z_2} \operatorname{tg} \beta l}{\frac{Z}{Z_2} + j \operatorname{tg} \beta l} \right| \quad (11)$$

Ze wzoru (11) wynika, że impedancja wejściowa falowodu zmienia się okresowo w zależności od odległości od źródła do końca falowodu. Dla swobodnego końca falowodu oraz w odległości wynoszącej  $n_G \cdot \pi$  od końca impedancja wejściowa będzie miała wartość największą, natomiast w odległości  $-\frac{\pi}{2}(2n_G + 1)$  wartość najmniejszą.

Rozpatrzmy pewne charakterystyczne przypadki, które będą miały uzasadnienie praktyczne. Jeżeli długość falowodu  $l = \lambda/4$ , to podstawiając tę wartość do równania (11) otrzymamy:

$$Z^2 = Z_1 \cdot Z_2$$

Zatem falowód ćwierćfalowy może spełniać rolę transformatora dopasowującego; może transformować dużą impedancję na małą i odwrotnie.

Dopasowanie impedancji wejściowej  $Z_1$  do impedancji obciążenia  $Z_2$  uzyskujemy, dobierając impedancję charakterystyczną falowodu równą średniej geometrycznej dwóch impedancji dopasowanych.

Impedancja wejściowa falowodu półfalowego ( $l = \lambda/2$ ) jest natomiast zawsze równa impedancji obciążenia, ponieważ:

$$Z_1 = Z \frac{Z_2 + jZ \operatorname{tg} \pi}{Z + jZ_2 \operatorname{tg} \pi} = Z_2 \quad (13)$$

Falowód półfalowy jest więc idealnym transformatorem o współczynniku transformacji równym jedności.



Z rozpatrywanych przykładów wynika, że możliwe jest łączenie kaskadowe półfalowych odcinków falowodu za pomocą odcinków ćwierćfalowych, przy czym odcinki półfalowe pozostają elementami niezależnymi.

Rozpatrzmy, jaka będzie impedancja wejściowa falowodu w odległości  $l = \lambda/8$ , gdy falowód na końcu obciążony jest impedancją  $Z_2$ .

Podstawiając tę wartość do wzoru (11) otrzymamy:

$$Z_1 = Z \frac{Z_2 + jZ}{Z + jZ_2} \quad (14)$$

Jeżeli impedancja  $Z_2$  jest wielkością rzeczywistą, to moduły licznika i mianownika są sobie równe. Moduł impedancji wejściowej falowodu jest wtedy równy impedancji charakterystycznej ośrodka ( $Z_1 = Z$ ).

Posługując się tymi zależnościami wyznaczamy optymalne miejscowe zamocowanie przetwornika drgań podłużnych oraz układu szczęk. Obciążenie dla przetwornika  $Z_p$  w odległości  $l_p$  od końca przetwornika, zgodnie z (11), wyniesie:

$$Z_p = Z \frac{Z_2 + jZ \operatorname{tg} \beta l_w}{Z + jZ_2 \operatorname{tg} \beta l_w} \quad (15)$$

gdzie:

$l_w$  - odległość od węzła drgań.

Wydzielając część rzeczywistą, obliczymy moc przetwornika  $P$  w odległości  $l_p$  od jego końca [6]

$$P = |\hat{U}|^2 Z_2 \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \beta l_p}{1 + \left(\frac{Z_2}{Z}\right)^2 \operatorname{tg}^2(\beta l_w)} \quad (16)$$

gdzie:

$|\hat{U}|$  - jest amplitudą prędkości cząstki.

Moc ta będzie największa dla wartości  $\operatorname{tg}(\beta l_p) = \pm 1$ , czyli w odległości  $l_p = (2n+1) \cdot \lambda/8$ . Ponieważ w rezonatorze powstaje fala stojąca, zatem obciążenie będzie również funkcją położenia szczęk ( $Z_2 = Z_w \operatorname{tg} \beta l_w$ )  $Z_w$  jest impedancją obciążenia układu przez szczęki w punkcie w.

Podstawiając tę wartość do wzoru [48] [4] dojdziemy do wniosku, że maksymalne przeniesienie efektu działania szczęk wystąpi również dla  $\operatorname{tg} \beta l_w = \pm 1$ , czyli dla  $l_w = (2n+1)\lambda/8$ . Tak więc w przypadku, gdy przetwornik i rezonator połączone są ze sobą, z uwzględnieniem rozkładu falowego, wystąpi w miejscu  $(2n+1)\lambda/8$  optymalne przeniesienie efektu działania szczęk czyli:

$$P_{\text{opt}} = \frac{Z(z_p - z_w)}{z_p + z_w} \hat{U}^2 \quad (17)$$

Zatem impedancje przetwornika i rezonatora dodają się według prawa połączenia równoległego impedancji.

Przedstawione wyżej właściwości półfalowych i ćwierćfalowych odcinków falowodu wzbudzonego do drgań pozwalają wykonać pomiary odkształceń ośrodka. Poprzez tłumienie rezonatora dolnego, wywołane oddziaływaniem szczęk, ulega zmianie częstotliwość drgań własnych rezonatora. Ze zmian tych wyznacza się współczynnik tłumienia drgań oraz określa się następnie wartość składowych  $R$  i  $X$ .

Stąd wyznaczamy mechaniczną impedancję ścinania szczęk  $Z_T$ . Z wartości składowych mechanicznej impedancji ścinania wyznacza się przesunięcie liniowe szczęk, a więc i, odkształcenie.

## 2. TEORETYCZNE PODSTAWY BUDOWY I DZIAŁANIA CZUJNIKA CHS-2 DO BADANIA ZMIAN NAPRĘŻEŃ GÓROTWORU

Z przeprowadzonych rozważań w pracach [2, 4], dotyczących stałych reologicznych i zmian naprężeń w górotworze wywołanych wyrobiskami górniczymi, wynika że dla zastosowania do pomiaru zmian naprężeń czujnika mechaniczno-magnetostrykcyjnego, opisanego w pracy [3], należy zmienić układ szczęk dociskowych na strunę sprzężoną z rezonatorem magnetostrykcyjnym. Czujnik ten w swej obudowie posiada zatem rezonator magnetostrykcyjny, cewkę pobudzenia i odbioru drgań, strunę oraz cylinder naprężenia struny. Związek między wynikami pomiarów przy użyciu opisanego czujnika a zmianami składowych naprężeń w górotworze (w dowolnych warunkach górniczo-geologicznych) jest funkcją wstępnego naprężenia czujnika, kąta orientacji czujnika względem głównych kierunków naprężeń i w pewnym sensie modułów sprężystości badanej skały.

Z przeprowadzonych rozważań i badań eksperymentalnych - podanych w pracach [2, 5 i 4] - wynika, że dla rozważanego czujnika zależność między naprężeniem struny czujnika a zmianą naprężeń skały przedstawia wzór:

$$\sigma_c = \sigma_0 - \Delta\sigma \cdot \alpha \quad (18)$$

gdzie:

$\sigma_0$  - oznacza odpowiednie naprężenie początkowe,

$\Delta\sigma$  - zmiana naprężenia górotworu w określonym przez czujnik kierunku,

$\alpha$  - współczynnik proporcjonalności równy liczbowo czułości czujnika na zmiany naprężenia górotworu.

Wstawiając wyrażenie (18) do wzoru:

$$\varphi = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E\epsilon}{\rho}}$$

gdzie:

$E$  - moduł Younga,

$\epsilon$  - odkształcenie długości struny,

$\rho$  - gęstość,

$l$  - długość struny

otrzymamy zależność zmiany naprężenia górotworu od częstotliwości czujnika w postaci:

$$\Delta \sigma = \frac{1}{\alpha} \left[ 1 - \left( \frac{\varphi}{\varphi_0} \right)^2 \right] [B \varphi_0]^2 \quad (19)$$

Po uwzględnieniu zależności współczynnika  $\alpha$  od modułu skały otrzymamy:

$$\Delta \sigma = \frac{\left[ 1 - \left( \frac{\varphi}{\varphi_0} \right)^2 \right] [B \varphi_0]^2}{9 - 0,5 \cdot 10^{-8} E} \quad (20)$$

gdzie:

$B$  - stała czujnika.

Z przeprowadzonych wyżej rozważań wynika następująca technika wykonania pomiaru zmiany stanu naprężeń w górotworze w otoczeniu wyrobisk górniczych oraz wyznaczenia stałych reologicznych. Mianowicie, w celu dokonania pomiarów naprężeń górotworu, zgodnie z teorią sprężystości należy umieścić czujniki w jednym lub w trzech równoległych otworach z uwzględnieniem wzajemnej orientacji czujników. W dalszej kolejności należy obliczyć ogólną zmianę naprężenia dla każdego czujnika i obliczyć zmiany naprężeń głównych i kąt orientacji.

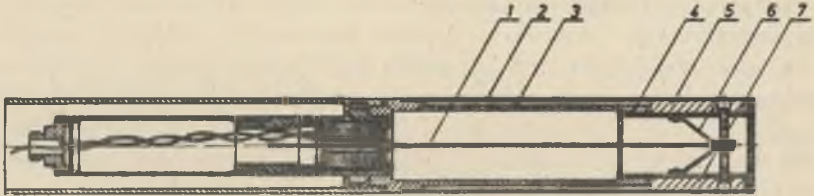
Następnie należy obliczyć stałe reologiczne zgodnie z podaną teorią [2] i zależności tych stałych od czasu przebiegu zmian naprężeń.

### 3. KONSTRUKCJA CZUJNIKÓW

W toku prac teoretycznych i technicznych opracowano kilka typów czujników przeznaczonych do określenia zmian stanu odkształceń i naprężeń górotworu, których konstrukcję podano poniżej.

Czujnik CHS-1

Wykorzystując rozwiązanie podane w pracach [2, 4] oraz rozważenia podane w rozdziale 1, opracowano konstrukcję czujnika magnetostrykcyjnego (rys. 2) do pomiaru zmian odkształceń górotworu.



Rys. 2. Przekrój czujnika CHS-1

1 - rezonator, 2 - tuleja zewnętrzna, 3 - tuleja wewnętrzna, 4 - pierścień z tekstolitu, 7,5 - kliny, 6 - układ szczęk

W skład układu pomiarowego wchodzi: elektryczny stabilizator napięcia, wzmacniacz stabilizowany, detektor, układ spustowy, generator impulsu, czujnik CHS-1, układ rejestracji wartości liczbowych.

Układ elektryczny czujnika jest urządzeniem pracującym w układzie syntezowym. Generator impulsowy wytwarza impulsy elektryczne, które przechodząc przez uzwojenie sprzężonego rezonatora, wzbudzają w nim drgania podłużne. Wskutek nacisku układu szczęk na rezonator amplituda drgań sprzężonego rezonatora maleje wykładniczo z czasem, w związku z tym amplituda siły elektromotorycznej odwrotnego efektu magnetostrykcyjnego maleje wykładniczo z czasem.

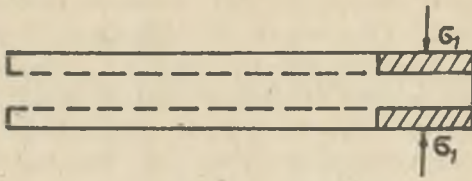
Gdy wielkość napięcia odwrotnego efektu magnetostrykcyjnego zmniejszy się do wartości 0,1 poziomu pierwotnego impulsu, wtedy dodatni impuls uruchamia generator impulsowy, który wywołuje do uzwojenia sprzężonego rezonatora następny impuls prądu.

Częstotliwość powtarzania impulsów wzbudzających czujnik CHS-1 będzie tym wyższa, im większy będzie nacisk układu szczęk na rezonator. Impulsy układu spustowego podawane są do rejestratora cyfrowego, którego wskazania są proporcjonalne do pierwiastka kwadratowego z nacisku układu szczęk i odkształceń.

Urządzenie wyżej opisane pozwala mierzyć zmiany deformacji w górotworze. W rozwiązaniu konstrukcyjnym czujnika integralną część stanowi komora jednoosiowego ściskania (rys. 3).

Do odczytu zmiany średnicy komory czujnika CHS-1 w kierunku  $x$  zastosowano elektroniczny układ cyfrowy z automatycznym zapisem dyskretno-ciągłym. Cały układ pomiarowy jest iskrobezpieczny. Widok czujnika CHS-1 w wykonaniu prototypowym przedstawia rys. 4. Pełny układ pomiarowy wraz ze stanowiskiem cechowania czujnika przedstawiono na rys. 5. W skład zestawu aparatury do cechowania wchodzi: rejestrator wykresów TZ2RS, wzmacniacz

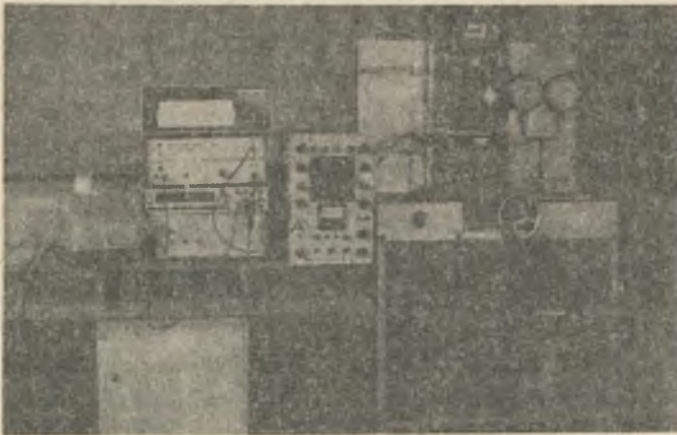




Rys. 3. Kombora czujnika CHS-1



Rys. 4. Widok czujnika CHS-1



Rys. 5. Zestaw aparatury do cechowania

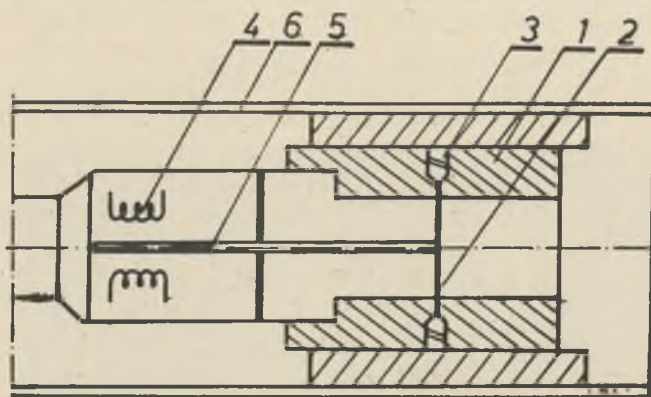
drgań "Unipan", licznik impulsów PFL-21, drukarka taśmowa, wzmacniacz drukarski 3511a, oscyloskop katodowy OK-15, czujnik, śruba mikrometryczna prasy do cechowania. Prasa mechaniczna służy do jednoosiowego ściskania. Nacisk prasy przenoszony jest na czujnik poprzez odkształcający się odpowiedni pierścień, którego odkształcenia są rejestrowane za pomocą mikrometru. Siłę odkształcenia odczytywano na podstawie danych dotyczących właściwości sprężystych pierścienia.

Materiał użyty na wykonanie czujnika został dobrany w ten sposób, aby przy występujących naciskach pracował on w granicach sprężystości.

### Czujnik CHS-2

Czujnik CHS-2 został wykonany w dwóch wersjach jako CHS-2<sub>1</sub> i CHS-2<sub>2</sub>. Czujnik CHS-2<sub>1</sub>, przedstawiony na (rys. 6), wykonany jest w postaci cylindra (1) o długości kilku centymetrów, wewnątrz którego znajduje się rezonator magnetostrykcyjny (5), sprzężony na strunę (2) napiętą w cylindrze "naprężenia", rurka kapilarna (3) i cewki (4). Głównym elementem czujnika CHS-2<sub>1</sub> jest cylinder (1), który jest poddany obróbce cieplnej i utwardzony po to, by osiągnął wytrzymałość rzędu wielkości

$$E_c = 1,2 \cdot 10^6 \text{ [kPa]}$$



Rys. 6. Przekrój czujnika mechaniczno-magnetostrykcyjnego CHS-2<sub>1</sub>

Do cylindra przymocowana jest struna (2) o wytrzymałości:

$$E_s = 2,5 \cdot 10^6 \text{ [kPa]}$$

Pozostałe elementy czujnika są takie same jak w czujniku CHS-1, przy czym zasada działania czujnika koreluje z zasadą oddziaływania szczęk w czujniku na zasadzie oddziaływania struny z rezonatorem magnetostrykcyjnym.

Czułość czujnika na naprężenie

Podstawowy związek między częstotliwością rezonansową struny a jej naprężeniem  $\sigma$  i odkształceniem  $\epsilon$  wyraża się wzorem:

$$\nu = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} = \frac{1}{2l} \cdot \sqrt{\frac{E\epsilon}{\rho}} \quad (21)$$

gdzie:

- E - moduł Younga,
- $\epsilon$  - odkształcenie długości struny,
- $\rho$  - gęstość,
- l - długość struny.

Ze wzoru (21) łatwo wyznaczyć zmianę długości struny wywołaną odkształceniem w czasie drgań

$$\Delta l = \frac{4l^3 \rho \nu^2}{E} \quad (22)$$

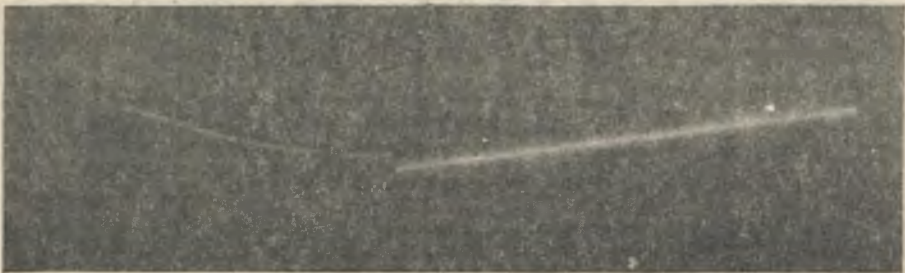
Po zróżniczkowaniu wzoru (21) i uwzględnieniu związku:  $\sigma = E\epsilon$  otrzymamy wyrażenie na czułość czujnika w postaci:

$$\delta(\Delta l) = \frac{4l^3 \rho \nu^2}{E} \quad (23)$$

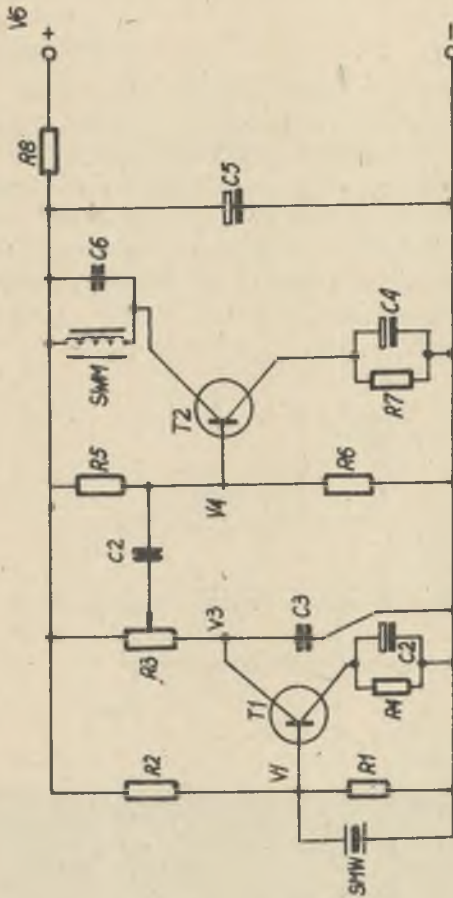
Na podstawie tego wzoru obliczono, że  $\delta(\Delta l) = 10$  [kPa].

Czujnik uniwersalny CHS-3

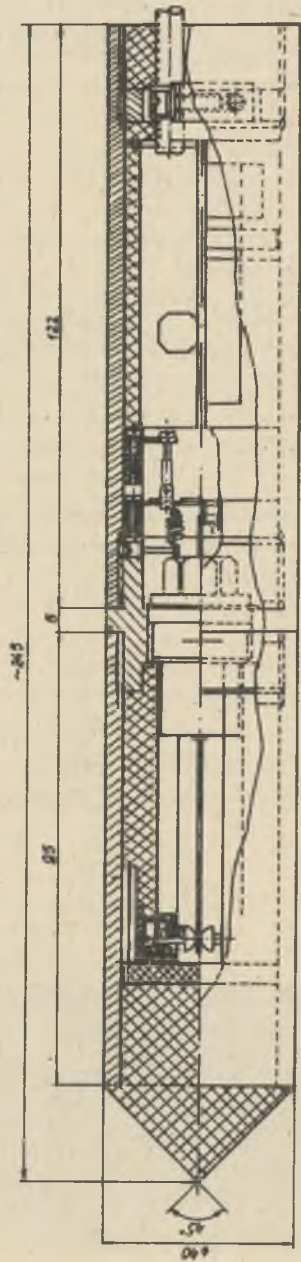
Czujnik wraz z układem elektronicznym przedstawiono na (rys. 7, 8, 9).



Rys. 7. Widok czujnika CHS-3



Rys. 8. Schemat elektroniczny czujnika CHS-3



Rys. 9. Przekrój czujnika CHS-3



W konstrukcyjnym wykonaniu czujnik stanowi cylinder o długości 30 cm, wewnątrz którego znajduje się rezonator magnetostrykcyjny sprzężony mechanicznie z czujnikiem piezoelektrycznym oraz układem elektronicznym. Układ elektroniczny stanowi dwustopniowy generator samowzbudzony ze sprzężeniem zwrotnym. Zmiana naprężeń lub odkształceń górotworu powoduje małe zmiany średnicy cylindra (rzędu wielkości  $10^{-5}$  m), które mierzy się ze pomocą wyznaczonej częstotliwości drgań rezonatora obciążonego mechanicznie. Układ elektroniczny wraz z czujnikiem jest urządzeniem pomiarowym iskrobezpiecznym zasilanym z akumulatora o napięciu 4,5 V. Szczegółową budowę podano w pracy [2].

Konstrukcja CHS-3 różni się od konstrukcji czujników opisanych wyżej sposobem generacji drgań rezonatora magnetostrykcyjnego. Pozwala to znacznie zminiaturyzować cały układ pomiarowy. Dzięki temu czujnik może być łatwo zainstalowany w górotworze w otoczeniu wyrobisk górniczych.

#### 4. WNIOSKI

1. W pracy przedstawiono konstrukcje i działania trzech typów jednokierunkowych czujników naprężeń i odkształceń górotworu.

Zasada działania pierwszych dwóch typów czujników (CHS-1 i CHS-2) oparta jest na wykorzystaniu efektu mechaniczno-magnetostrykcyjnego rezonatora obciążonego mechanicznie, działającego w układzie impulsu krążącego.

Trzeci typ czujnika działa na zasadzie dodatkowego sprzężenia z czujnikiem piezoelektrycznym w układzie generatora drgań wymuszonych.

2. Zasada działania czujnika typu trzeciego (CHS-3) pozwala na miniaturyzację układu elektronicznego i umieszczenia go w obudowie czujnika. Dzięki temu możliwy stał się pomiar naprężeń i odkształceń górotworu.

#### LITERATURA

- [1] Borecki M., Gocman R., Kidybiński A.: Światowe kierunki rozwoju aparatury pomiarowej do badania przejawów ciśnienia górotworu. Sympozjum Naukowe, Katowice 1965.
- [2] Chudek M., Szyma S.: Doskonalenia konstrukcji i technologii pomiarów stanów odkształceń w otworach wiertniczych wykonywanych w górotworze nienaruszonym i naruszonym eksploatacją górniczą. Prace Instytutu Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej. Gliwice. Prace niepublikowane, 1977, 1978, 1980.
- [3] Chudek M., Szyma S.: Patent PRL nr P-187389, 1976.
- [4] Chudek M., Szyma S.: Matematyczne ujęcie własności górotworu jako funkcji zmiany naprężenia i odkształcenia w danym stanie naprężenia górotworu. Praca przekazana do druku.

- [5] Chudek M., Parka J.: Badania laboratoryjne zmian odkształceń i naprężeń skał górotworu i materiałów budowlanych. Praca w druku.
- [6] Atabiekow G.I.: Teoria liniowych obwodów elektrycznych. WNT, Warszawa, 1967, ss. 298-338.

Recenzent: Doc. dr hab. Marian Kargol

Wpłynęło do Redakcji 16.06.1981 r.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ ДАТЧИКОВ ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В ГОРНОЙ ПОРОДЕ

Р е з ю м е

Настоящая работа приводит теоретические основы устройства и работы механическо-магнитострикционных датчиков СНС предназначенных для исследования изменений напряжений и деформаций горной породы в буровых скважинах, как и описывает их конструкцию.

THE THEORETICAL BASIS FOR ROCK MASS STRESS AND STRAIN  
CHANGE MEASUREMENT GAUGES OPERATION

S u m m a r y

The theoretical basis of operation and design of mechanical-magnetostriction CHS gauges to test rock mass stress and strain changes in drilling holes has been presented, as well as their construction has been worked out.