

Jan LEKS

Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej
Politechniki Śląskiej

MIERNIK ZAGĘSZCZENIA ZAWIESIN WODNYCH

Streszczenie. W artykule opisano miernik zagęszczenia zawiesin, zwłaszcza mułowo-wodnych, występujących w obiegach wodno-mułowych zakładów przeróbki kopalin. Wartość zagęszczenia tych zawiesin w określonych miejscach jest istotnym parametrem, od którego zależy szybkość i sprawność procesu filtracji zawiesin. Dotychczas stosowane laboratoryjne metody pomiaru zagęszczenia nie pozwalały prowadzić optymalnie procesu filtracji zawiesin, ze względu na bardzo długi czas pomiaru.

Opisany miernik zagęszczenia zawiesin działa na zasadzie pomiaru stopnia tłumienia promieniowania podczerwonego przez badaną zawiesinę i jest oryginalnym rozwiązaniem.

Ze względu na krótki czas pomiaru (około 2s) i szeroki zakres pomiarowy (0... 1000 g/l) nadaje się on do bieżących pomiarów zagęszczenia, a także dzięki przetwarzaniu wartości zagęszczenia na napięcie elektryczne umożliwia automatyzację procesu filtracji zawiesin. Przytoczone w opisie miernika zagęszczenia zależności opisują w sposób ogólny ideą działania układu miernika.

1. Wstęp

W wielu gałęziach przemysłu, szczególnie w zakładach przeróbki kopalin wykorzystujących obiegi wodno-mułowe, konieczne są ciągłe lub okresowe pomiary zagęszczenia zawiesin [1,2]. Szczególnie istotne jest to w przypadku przeróbki wodno-mułowej węgla kamiennego. Znajomość zagęszczenia przerabianej zawiesiny węglowo-wodnej pozwala na optymalny dobór parametrów technicznych urządzeń przerobczych [1] oraz osiągnięcie maksymalnej sprawności procesów przerobczych przy minimalnym zużyciu drogich flokulantów (substancji chemicznych przyspieszających proces sedymentacji zawiesiny).

Istnieje ścisła zależność pomiędzy zagęszczeniem przerabianej zawiesiny a ilością dozowanego do niej flokulantu [2]. Zbyt mała ilość flokulantu powoduje, że proces sedymentacji jest długi, produkt wyjściowy (kondensat) zawiera zbyt wiele wody, zaś zbyt duża ilość flokulantu powoduje, że kondensat zawiera zbyt mało wody, co jest często przyczyną awarii urządzeń przerobczych, zwłaszcza pomp i filtrów.

W praktyce przemysłowej ustala się parametry urządzeń przerobczych obiegu wodno-mułowego oraz dawki flokulantu i wody na podstawie przewidywanej wartości zagęszczenia przerabianej zawiesiny.

Przyjmuje się prawdopodobną wartość zagęszczenia na podstawie wcześniej przeprowadzonych metodą laboratoryjną pomiarów zagęszczenia zawieszin występujących w obiegu wodno-mułowym. Pomiar zagęszczenia zawiesziny tą metodą polega na pobraniu zawiesziny, odparowaniu z niej wody, a następnie ważeniu pozostałego osadu po odparowaniu wody. Stosunek masy osadu od objętości próbki jest zagęszczeniem zawiesziny.

Ten sposób określenia zagęszczenia zawieszin jest czasochłonny, wyklucza automatyzację i nie pozwala uzyskiwać stale wysokiej sprawności procesu przerobczego.

Opisywany w artykule miernik zagęszczenia zawieszin pozwala mierzyć zagęszczenie zawieszin w sposób ciągły, przy czym zawiesziny mogą być stacjonarne lub przepływowe.

Ze względu na krótki czas pomiaru (ok. 2s), szeroki zakres mierzonego zagęszczenia (0 - 1000 g/l) oraz liniowe przetwarzanie mierzonego zagęszczenia Z na napięcie U_{wy} , miernik może być wykorzystany w zautomatyzowanych obiegach wodno-mułowych.

Napięcie wyjściowe U_{wy} miernika może być wykorzystywane do sterowania urządzeniami przerobczymi [1] (pompami, zaworami, dozownikami itp.).

2. Zasada działania

Miernik zagęszczenia zawieszin, którego uproszczony schemat funkcjonalny przedstawiono na rysunku, działa na zasadzie pomiaru współczynnika efektywnej transmisji T_{ef} promieniowania podczerwonego w badanej zawieszynie. Promieniowanie podczerwone przechodząc przez warstwę zawiesziny ulega osłabieniu w wyniku odbicia, rozproszenia i absorpcji przez cząstki ciał stałych zawiesziny [4]. Moc promieniowania P_D dochodzącego do detektora promieniowania D_2 (rys. 1) jest proporcjonalna do mocy P_e emitowanej przez źródło promieniowania D_1 i współczynnika efektywnej transmisji T_{ef}

$$P_D = K_q P_e T_{ef} \quad (1)$$

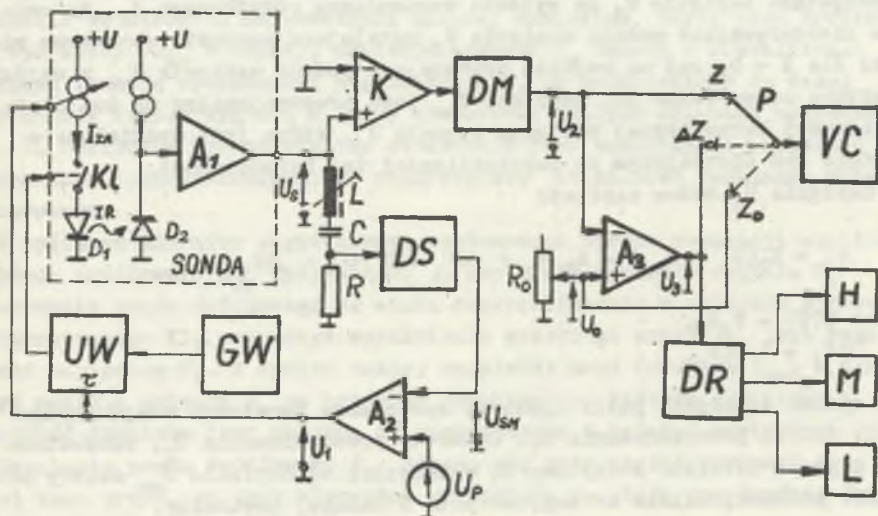
gdzie: K_q - współczynnika geometryczny uwzględniający kształt i wymiary układu optycznego zawierającego elementy D_1 i D_2 .

Dla monochromatycznego promieniowania podczerwonego współczynnik efektywnej transmisji T_{ef} zależy od zagęszczenia zawiesziny Z i drogi l , jaką przebywa promieniowanie w zawieszynie [4].

$$T_{ef} = \exp [- P_A(Z)l] \quad (2)$$

$$\text{przy czym } P_A(Z) \approx F(Z, d_{\text{śr}}, n_A d_A) \quad (3)$$

gdzie: d_{sr} - przeciętna średnica cząstek stałych w zawieszynie,
 $d_A n_A$ - odpowiednio przeciętna średnica i liczba agregatów cząstek stałych zlepionych w wyniku działania flokanta,
 l - odległość źródła promieniowania D_1 od detektora promieniowania D_2 .



Rys.1 Uproszczony schemat funkcjonalny miernika zagęszczenia zawieszin
 Fig.1 Simplified functional diagram of the instrument for measuring the solid-liquid ratio of water suspensions

Zależność (3) może być wyznaczona jedynie eksperymentalnie z pomiaru napięcia sygnału U_g na detektorze promieniowania D_2 dla wzorcowych zawieszin, których skład i wielkość ziaren ciał stałych jest znany. W praktyce jest to zadanie trudne do wykonania z uwagi na niemożność dokładnej selekcji ziaren ze względu na ich średnicę, a także z powodu niejednakowej sedymentacji ziaren o różnej średnicy.

Można jednak dla danego rodzaju zawiesziny wyznaczyć relację pomiędzy napięciem sygnału U_g na detektorze promieniowania D_2 i zagęszczeniem Z tej zawiesziny przyjmując stały rozkład ilości ziaren ciał stałych w zawieszynie w funkcji ich średnicy.

Wystarczy wtedy określić współczynniki korekcyjne zależne od przeciętnej średnicy ziaren dominujących w zawieszynie. Taki sposób wyznaczania relacji $U_g = f(Z)$ przyjęto w opracowaniu miernika zagęszczenia. Podczas badań okazało się, że można poprzez wprowadzenie automatycznej regulacji wzmacnienia (ARW) i dobór sprzężenia zwrotnego we wzmacniaczu A_1 oraz sterowanie pracą źródła promieniowania D_1 (tak jak na rys.1) uzyskać

odwrotnie proporcjonalną zależność amplitudy napięcia sygnału U_{sm} od zagęszczenia Z badanej zawiesziny. Ponieważ moc promieniowania P_e emitowanego przez diodę D_1 (IRED) jest wprost proporcjonalna do prądu $I_{\dot{z}r}$ płynącego przez tę diodę [5], może więc być regulowana poprzez regulację prądu $I_{\dot{z}r}$.

W opisanym mierniku do regulacji mocy P_e emitowanej przez diodę D_1 wykorzystano napięcie U_1 na wyjściu wzmacniacza różnicowego A_2 . Na wejście nieodwracające podano napięcie U_p ustalające warunki początkowe miernika dla $Z = 0$, zaś na wejście odwracające podano napięcie U_{sm} z wyjścia detektora szczytowego DS. Napięcie U_{sm} jest proporcjonalne do amplitudy podstawowej harmonicznej napięcia sygnału U_g , która jest wydzielona w układzie RLC dostrojonym do częstotliwości tej harmonicznej.

Dla napięcia U_1 można napisać:

$$U_1 = K_2(U_p - U_{sm}) = K_2 U_p + \Delta U_1 = U(0) + \Delta U_1 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{gdzie: } U(0) &= K_2 U_p, \\ \Delta U_1 &= -K_2 U_{sm} \end{aligned}$$

W wyniku działania pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego obejmującego obwód: źródło promieniowania D_1 , detektor promieniowania D_2 , wzmacniacz A_1 i poprzez detektor szczytowy DS wzmacniacz A_2 napięcie U_{sm} zależy odwrotnie proporcjonalnie od zagęszczenia Z badanej zawiesziny.

$$U_{sm} = \frac{A U(0)}{1 + Z} \quad (5)$$

przy czym: A - współczynnik proporcjonalności zależy od wypadkowego wzmocnienia układu. Uwzględniając wzór (5) w równaniu (4) dla przyrostu napięcia ΔU_1 zachodzi:

$$\Delta U_1 = - \frac{A K_2 U(0)}{1 + Z} \quad (6)$$

Amplituda prądu źródłowego $I_{\dot{z}r}$ w wyniku sterowania tego źródła napięciem U_1 zależy od przyrostu U_1 .

$$I_{\dot{z}r} = I(0) + \Delta I = I(0) + B \Delta U_1 \quad (7)$$

przy czym: $I(0)$ - prąd źródłowy przy $Z = 0$,

B - współczynnik zależny od wzmocnienia układu sterującego źródłem prądowym.

Wykorzystując wzór (6) w równaniu (7) otrzymuje się dla zmian prądu $I_{\dot{z}r}$:

$$\Delta I = - \frac{B A K_2 U(0)}{1 + Z} \quad (8)$$

W wyniku takiego sterowania źródła prądowego zasilającego źródło promieniowania D_1 moc promieniowania P_g tego źródła zmienia się zależnie od zagęszczenia Z badanej zawiesiny tak, że im większe jest zagęszczenie, tym większa jest moc P_g emitowana przez źródło promieniowania D_1 .

Napięcie sygnału U_g na wyjściu detektora promieniowania maleje proporcjonalnie ze wzrostem zagęszczenia badanej zawiesiny. Gdyby prąd źródłowy I_{zr} był stały ($I_{zr} = \text{const}$), napięcie sygnału U_g byłoby w przybliżeniu malejącą funkcją wykładniczą zagęszczenia Z , co prowadziłoby do dużej rozpiętości napięć sygnału U_g przy stosunkowo małych zmianach zagęszczenia Z . Konieczne byłoby wówczas stosowanie jako wzmacniacza wstępnego A_1 wzmacniacza logarytmicznego, co pogorszyłoby stabilność termiczną układu pomiarowego.

W opisanym mierniku zagęszczenia zastosowano oprócz regulacji amplitudy prądu źródłowego I_{zr} wpływającej na amplitudę napięcia sygnału U_g kluczowanie prądu źródłowego ze stałą częstotliwością w układzie klucza elektronicznego K_1 , przy czym wypełnienie przebiegu prądu I_{zr} jest regulowane napięciem U_1 . W wyniku takiej regulacji prąd źródłowy I_{zr} , a tym samym napięcie sygnału U_g ma przebieg prostokątny, którego amplituda i szerokość impulsów jest zależna od zagęszczenia Z badanej zawiesiny.

Regulacja prądu źródłowego I_{zr} odbywa się przy stałej wartości średniej tego prądu, co jest korzystne ze względu na stałą moc średnią źródła promieniowania D_1 [3], [5].

Dla przyrostów amplitudy I prądu źródłowego I_{zr} i szerokości T_z impulsów tego prądu spełniona jest równość:

$$|\Delta I| T_z = Q = \text{const.} \quad (9)$$

Wykorzystując we wzorze (9) zależność (8) uzyskuje się zależność

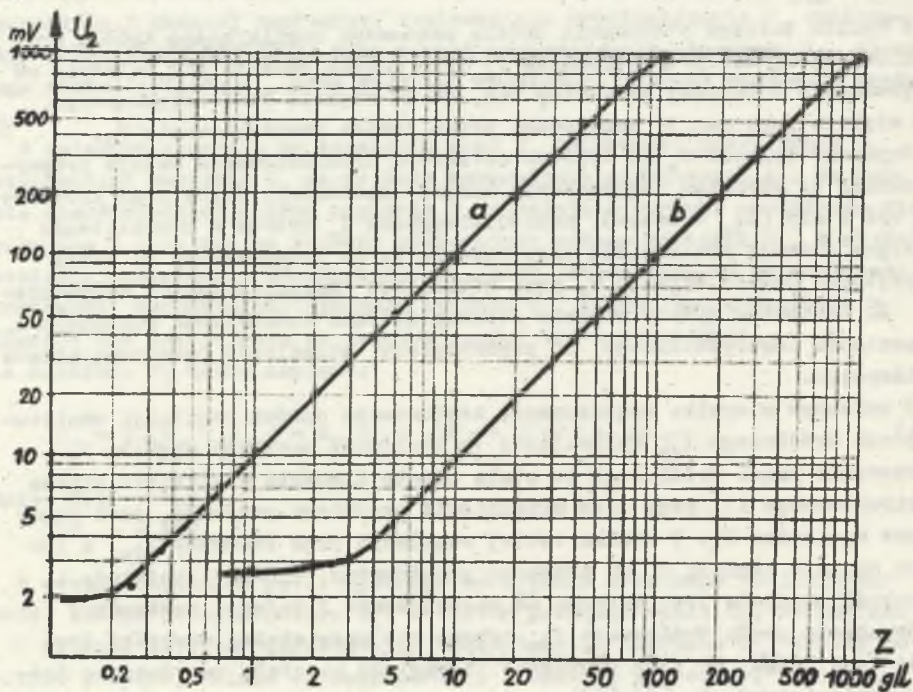
$$T_z = \frac{Q}{|\Delta I|} = \frac{Q}{B K_2 U(0)} (1 + Z) \quad (10)$$

$$\text{lub } T_z = T_0(1+Z) \quad (11)$$

przy czym $T_0 = \frac{Q}{BK_2 U(0)}$ - szerokość impulsu

prądu I_{zr} dla $Z = 0$

Z zależności (11) wynika, że szerokość impulsów prądu źródłowego T_z jest proporcjonalna do zagęszczenia Z . Szerokość T_z może być łatwo mierzona przyrządem cyfrowym.



Rys.2 Charakterystyka przetwarzania miernika zagęszczenia zawiesin;

a) dla zakresu 0 - 100 g/l

b) dla zakresu 0 - 1000 g/l

Fig.2 Conversion characteristic of the instrument for measuring the solid-liquid ratio of water suspensions

W opisanym mierniku zagęszczenia napięcie sygnału U_0 proporcjonalne do mocy P_D (zależność (1)) z wyjścia wzmacniacza A_1 podawane jest na komparator K , na którego wyjściu powstaje napięcie o przebiegu prostokątnym o stałej amplitudzie i szerokości impulsów T_x .

Napięcie to podawane jest dalej na układ detektora wartości średniej DE , na którego wyjściu powstaje napięcie stałe U_2 proporcjonalne do szerokości impulsów T_x , a tym samym do zagęszczenia Z badanej zawiesiny (11).

Napięcie U_2 jest podawane na układ wzmacniacza A_3 , na wyjściu którego napięcie U_3 proporcjonalne do różnicy napięć $U_2 - U_0$ jest regulowane potencjometrem R_0 , odpowiada ono wartości zagęszczenia odniesienia Z_0 zadawanego przez obsługę. Ułatwia to kontrolę zmian zagęszczenia badanej zawiesiny. Napięcie U_3 podawane jest na układ dyskryminatora różnicy DR , na którego wyjściach znajdują się dyskretne wskaźniki H, M i L sygnalizujące stan przyrostów zagęszczenia ΔZ względne zagęszczenia odniesienia Z_0 .

Na wyjściu miernika zagęszczenia jest woltomierz cyfrowy VC, który zależnie od położenia przełącznika P wskazuje wartość zagęszczenia Z (napięcie U_2), przyrostu zagęszczenia $\Delta Z = Z - Z_0$ (napięcie U_3) lub zagęszczenie odniesienia Z_0 .

Napięcia U_2 , U_3 lub napięcie z wyjść cyfrowych woltomierza VC mogą być wykorzystane do sterowania urządzeniami automatyki.

Prototyp opisywanego miernika zagęszczenia zawieszin wyposażono w dwa zakresy pomiarowe: zakres podstawowy "Z", 0 : 100 g/l i zakres poszerzony "10 Z", 0 : 1000 g/l. Uzyskano liniową charakterystykę miernika dla zagęszczeń większych od ok. 2,5 g/l w zakresie podstawowym oraz dla zagęszczeń z przedziału wartości 8 : 990 g/l.

Zakres pomiarowy "10 Z" uzyskano poprzez zmianę wzmocnienia A_1 oraz prądu źródłowego I_{zr} , co w zależnościach (5), (8) i (11) uwidoczni się zmianą wartości współczynnika A i B .

Na rys.2 przedstawiono charakterystykę miernika zagęszczenia zawieszin w postaci zależności napięcia U_2 (rys.1) od mierzonego zagęszczenia Z dla wodnej zawiesziny węglowej, której ziarna mają średnice od ok.15 do 90 mikrometrów. W zakresie liniowym charakterystyki błąd pomiaru zagęszczenia opisywanym miernikiem nie przekracza 2%. Dolne zakrzywienie charakterystyki wynika ze zbyt małego wpływu zagęszczenia na wartość transmisji zawiesziny dla promieniowania podczerwonego, a górne zakrzywienie charakterystyki wynika ze zbyt małej przezroczystości zawiesziny i niedostatecznego wzmocnienia wzmacniacza A_1 .

3. Uwagi końcowe

W praktyce możliwe jest poszerzenie zakresu liniowej pracy miernika poprzez zastosowanie czulszego detektora promieniowanie sprawniejszego układu optycznego, w którym znajdują się diody D_1 D_2 oraz zwiększenie zakresu zmian prądu źródłowego I_{zr} .

Opisywany miernik zagęszczenia zawieszin jest wykorzystywany do pomiaru zagęszczenia zawiesziny węglowej dopływającej rynną do filtra sedimentacyjnego. Czujnik miernika w postaci sondy zawierającej układy elektryczne podane na rys.1 jest zanurzony w badanej zawieszinie. Miernik może znaleźć zastosowanie do pomiarów zagęszczenia zawieszin innych niż wodno-węglowe, o ile ciecz będzie przezroczysta dla promieniowania podczerwonego w przedziale długości fal, w którym pracują diody D_1 i D_2 , a zawieszona w niej cząsteczki ciała stałego są nieprzezroczyste. Większość występujących naturalnie zawieszin, zwłaszcza wodnych, spełnia te wymagania przy długościach fali promieniowania podczerwonego z zakresu 0,9 : 1,1 mikrometra, np. ścieki wodne. W tym zakresie fal promieniowania zwykle rozpuszczone w wodzie sole jonowe są przezroczyste. Nie wpływają więc na błąd pomiaru zagęszczenia jej ciałami stałymi.

LITERATURA

- [1] Battalia J.A.: Odwadnianie produktów wzbogacenia i obiegi wodne płuczek. AGH Kraków 1963.
- [2] Białas J. Narwocki J.: Selective Dewatering of Water Suspensions of Coal. Międzynarodowy Kongres Przeróbki Kopalin, Totonto 1982.
- [3] Bogomołow P.A.: Prijemnyje ustrojstwa IK-sistem. Radio i Świat, Moskwa 1987.
- [4] Simon I.: Infrared Radiation, Vein Nostrand Momentum Book 12 Londyn 1966.
- [5] Rudnicki C.: Półprzewodnikowe przyrządy optoelektroniczne karty katalogowe. ITS, Warszawa 1987.

Recenzent : doc. dr hab. inż. Zygmunt Kuśmierek

Wpłynęło do Redakcji dnia 2 stycznia 1989r.

ИЗМЕРИТЕЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДНЫХ ВЗВЕСЕЙ

Р е з ю м е

В работе описан измеритель концентрации взвесей, особенно илистоводных, которые выступают в илисто-водных циркуляциях заводов по переработке ископаемых. Величина концентрации этих взвесей в определяемых местах - это важный параметр, от которого зависит скорость и эффективность процесса фильтрации взвесей. До настоящего момента используемые лабораторные методы измерений взвесей не позволяли осуществлять оптимального процесса фильтрации взвесей в связи с длительностью измерения во времени. Описываемый измеритель концентрации взвесей действует по принципу измерения степени поглощения инфракрасного излучения исследуемой взвесью и является оригинальной конструкцией:

Учитывая короткое время измерений (около 2 сек.) и широкий диапазон измерений (0...1000 г/л), измеритель пригоден для текущих измерений концентрированных растворов, а также благодаря его способности преобразовывать величину концентрации в электрическое напряжение дает возможность автоматизировать процесс фильтрации взвесей. Приведенные в описании зависимости представляют в общем плане принцип действия системы измерителя взвесей.

**INSTRUMENT FOR MEASURING THE SOLID-LIQUID RATIO OF
WATER SUSPENSION****S u m m a r y**

The instrument for measuring the solid-liquid ratio of the suspension especially for the sludge-water one, occurring in sludge-water circulations of the coal treatment plants has been described in the paper. The solid-liquid ratio value of these suspensions in specified places is an essential parameter on which the rate and efficiency of the suspension filtering process depend. Laboratory methods of the solid-liquid ratio measurement applied so far did not allow to carry out the optimum filtering process considering very long measuring time. The described instrument for measuring the suspension liquid-solid ratio operates by the principle of measuring the degree of infra-red radiation attenuation caused by the suspension tested and is an original solution. Taking into consideration very short measuring time (about 2s) and wide measuring range (0...1000 g/l) the instrument is suitable for current liquid-solid ratio measurements and makes the suspension filtering process possible owing to the liquid-solid ratio conversion into voltage. The dependences mentioned in the instrument description specify in a general way the idea of the measuring instrument operation.