

Franciszek Dyduch, Henryk Aleksa

WPLYW OBCIĄŻENIA HYDRAULICZNEGO WIRÓWKI I JEJ PARAMETRÓW TECHNICZNYCH NA WIELKOŚĆ ZIARNA PODZIAŁOWEGO

Streszczenie

W artykule przedstawiono równania wiążące wysokość spiętrzenia odcieku w okienkach przelewowych wirówki sedymentacyjno-filtracyjnej i wielkości ziarna podziałowego w funkcji obciążenia hydraulicznego wirówki i jej parametrów technicznych. Wielkość ziarna podziałowego rzutuje na zawartość fazy stałej w odcieku wirówki. Faza stała w odcieku stanowi źródło nieuniknionych strat niewielkich ilości węgla. Chodzi o to, aby straty te zminimalizować do ilości technicznie możliwych. Każde zmniejszenie zawartości części stałych w przelewie przynosi określone korzyści ekonomiczne. Straty węgla w odcieku można zmniejszyć:

- dobierając odpowiednie parametry techniczne wirówki,
- zmniejszając obciążenie hydrauliczne wirówki przez zwiększenie koncentracji części stałych,
- poprawiając warunki sedymentacji części stałych w warstwie odcieku wypływającego z wirówki przez dobranie odpowiedniego uziarnienia części stałych oraz zastosowanie środków chemicznych o własnościach agregujących lub/i hydrofobizujących.

Z analizy otrzymanego równania wynika, że najistotniejszymi parametrami, które mają wpływ na wielkość ziarna podziałowego jest obciążenie hydrauliczne i liczba obrotów wirówki. W warunkach przemysłowych najprostszym sposobem zmiany wielkości ziarna podziałowego jest zmiana obciążenia hydraulicznego wirówki. Analiza została poparta przykładem obliczeniowym.

Impact of hydraulic load of centrifuge and its technical parameters onto size of sorted grain

Abstract

In the paper, equations connecting a height of reflux damming up in overflow window of sedimentation-filtration centrifuge and a size of sorted grain in a function of hydraulic load of centrifuge and its technical parameters were presented. The size of sorted grain has a repercussion in a content of solid phase in the reflux of centrifuge. The solid phase in the reflux is a source of inevitable losses of small quantities of coal. It is of importance to have these losses minimalized to technically possible quantities. Every decrease of solid part content in overflow brings definite economic advantages. The losses of coal in the reflux can be reduced by:

- selecting suitable technical parameters of centrifuge,
- diminishing the hydraulic load of centrifuge through increasing of concentration of solid parts,
- improving conditions of sedimentation of solid parts in the reflux layer flowing from centrifuge by selecting suitable grain-size distribution of solid parts, as well as by use of chemical agents of aggregative or/and hydrophobizing properties.

From analysis of equation obtained, it results that essential parameters, which have impact onto the size of sorted grain, is the hydraulic load and a number of turns of centrifuge. In industrial conditions, the simplest way of the sorted grain size change is a change of hydraulic load of centrifuge. The analysis was supported with a computational example.

WPROWADZENIE

Wirówki sedymentacyjno-filtracyjne, coraz częściej stosowane do odwadniania niskopopiołowych mułów węglowych, stanowią połączenie dwóch rodzajów wirówek: sedymentacyjnej i filtracyjnej.

W sedymentacyjnej części wirówki odwadniany materiał jest poddawany zagęszczeniu do bardzo dużej koncentracji, po czym po przesunięciu go przez ślimak do części filtracyjnej (sitowej) ulega on odwodnieniu, co prowadzi do istotnej redukcji zawartej w nim wilgoci. W wyniku odwadniania uzyskuje się dwa produkty finalne, a mianowicie odwodniony osad i odciek (przelew) z części sedymentacyjnej oraz zawieszinę z części sitowej, która jest najczęściej zwracana do nadawy na wirówkę.

Z technologicznego punktu widzenia interesujące są dwa parametry, które charakteryzują produkty finalne, tj. zawartość wilgoci w osadzie oraz koncentracja części stałych w odcieku. Na jakość produktów finalnych wpływają takie czynniki techniczno-technologiczne, jak: obciążenie hydrauliczne wirówki, koncentracja fazy stałej w nadawie, udział w nadawie najdrobniejszych klas ziarnowych, liczba wirowania (liczba obrotów wirówki), różnica obrotów bęben/ślimak i średnica kryzy przelewowej.

Podczas procesu odwadniania w wirówce sedymentacyjno-filtracyjnej najdrobniejsze ziarna przechodzą do odcieku. Wielkość ziarna podziałowego d_{50} , określającego rozdział ziarn między przelewem a produktem, który osadza się w części sedymentacyjnej wirówki, zależy od parametrów technicznych wirówki i jej obciążenia hydraulicznego oraz parametrów technologicznych nadawy.

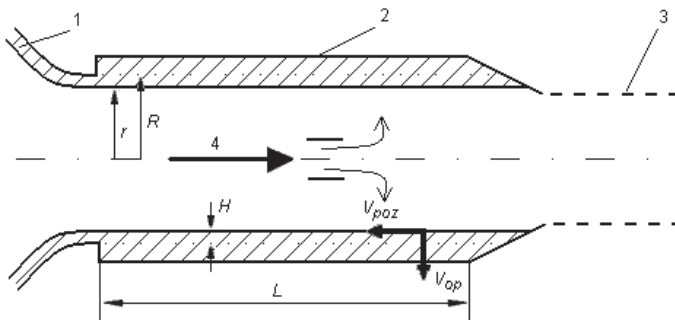
Wyprowadzono równania na wysokość spiętrzenia odcieku w okienkach przelewowych wirówki, jak i na wielkość ziarna podziałowego d_{50} w funkcji obciążenia hydraulicznego i jej parametrów technicznych. Wielkość ziarna podziałowego d_{50} definiuje się jako wielkość ziarna lub bardzo wąskiej klasy ziarnowej, która ma jednakowe prawdopodobieństwo przejścia do jednego z produktów klasyfikacji (Nowak 1982).

1. WZÓR NA WYSOKOŚĆ SPIĘTRZENIA ZAWIESINY NA PROGU PRZELEWOWYM

Wyprowadzono równania na wysokość spiętrzenia odcieku w okienkach przelewowych wirówki, jak również na wielkość ziarna podziałowego d_{50} w funkcji obciążenia hydraulicznego tej wirówki i jej parametrów technicznych (rys. 1 i 2).

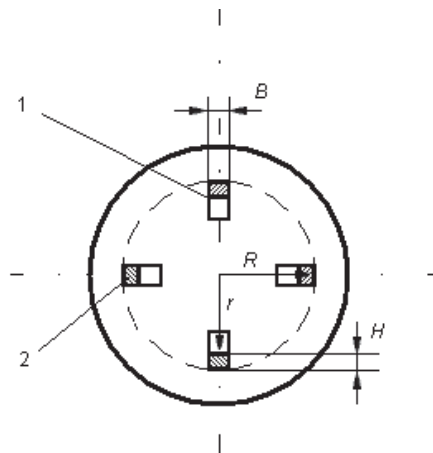
Prędkość wypływu odcieku zależy od ciśnienia wywołanego siłą odśrodkową, która jest funkcją liczby obrotów bębna N . Z definicji ciśnienia wynika w tym przypadku, że jest to siła odśrodkowa F , działająca na powierzchnię wewnętrzną walca S_1 o promieniu r

$$\Delta P = \frac{F}{S_1} = \frac{am}{S_1} \quad (1)$$



Rys. 1. Przekrój podłużny wirówki: 1 – odciek, 2 – część sedymentacyjna, 3 – część sitowa, 4 – nadawa, r – promień wewnętrzny walca (pierścienia) przelewowego, R – promień progu przelewowego, L – długość części sedymentacyjnej, v_{op} – prędkość opadania ziarna w odśrodkowym polu sił, v_{poz} – prędkość pozioma ziarna

Fig. 1. Longitudinal section of centrifuge: 1 – reflux, 2 – sedimentation part, 3 – screen part, 4 – material fed mechanically for crushing, r – internal radius of overflow cylinder (ring), R – radius of overflow dam, L – length of the sedimentative part, v_{op} – settling velocity of grain in centrifugal field of strengths, v_{poz} – horizontal velocity of grain



Rys. 2. Rozmieszczenie okienek przelewowych: 1 – okienko przelewowe, 2 – odciek, B – szerokość okienka przelewowego, r – promień wewnętrzny walca (pierścienia) przelewowego, R – promień progu przelewowego, H – wysokość spiętrzenia

Fig. 2. Distribution of overflow windows: 1 – overflow window, 2 – reflux, B – width of overflow window, r – internal radius of overflow cylinder (ring), R – radius of overflow dam, H – height of damming up

$$a = 4\pi^2 N^2 r \quad (2)$$

gdzie a – przyspieszenie.

Masę cieczy m w pierścieniu o objętości V można obliczyć ze wzoru

$$m = VG_z \quad (3)$$

gdzie G_z – gęstość cieczy.

Z zasady zachowania energii przy wypływie cieczy, z otworu zamkniętego naczyń, wynika że zależność ciśnienia ΔP i prędkości wypływu v ma postać

$$\Delta P = \frac{v^2}{2} G_z \quad (4)$$

Odciek z progu przelewowego wypływa przez powierzchnię S pod działaniem ciśnienia ΔP wytworzonego przez siłę odśrodkową F , działająca na powierzchnię wewnętrzną walca o promieniu r .

Wzór (1) przekształca się, wstawiając wzory (2) i (3) i otrzymuje się

$$\Delta P = 2\pi^2 N^2 G_z (R^2 - r^2) \quad (5)$$

gdzie:

N – liczba obrotów bębna,

r – promień wewnętrzny walca (pierścienia) przelewowego,

R – promień progu przelewowego.

Następnie porównuje się wzory (4) i (5) i otrzymuje się wzór na prędkość wypływu v odcieku z progu przelewowego wirówki

$$v = 2\pi N \sqrt{R^2 - r^2} \quad (6)$$

Z powyższego wzoru wynika, że prędkość wypływu odcieku z wirówki jest proporcjonalna do liczby obrotów bębna wirówki.

W wirówkach odbiór odcieku odbywa się przez okienka przelewowe, co przedstawiono na rysunku 2. Wzór na wysokość spiętrzenia odcieku na progu przelewowym wyprowadzono dla dwóch wersji. Wersja pierwsza obejmuje przypadek hipotetyczny, gdy odbiór odcieku odbywa się z całego obwodu, natomiast w wersji drugiej uwzględniono rzeczywisty sposób odbioru odcieku przez okienka przelewowe (rys. 2).

WERSJA 1. Odbiór odcieku (przelewu) z całego obwodu

Obciążenie hydrauliczne wirówki V^* oblicza się ze wzoru

$$V^* = vS \quad (7)$$

gdzie:

v – prędkość wypływu odcieku,

S – powierzchnia wypływu.

Powierzchnia wypływu S odcieku wynosi

$$S = \pi(R^2 - r^2) \quad (8)$$

Promień wewnętrzny walca r powierzchni cieczy wirującej można przedstawić następująco

$$r = R - H \quad (9)$$

gdzie:

H – wysokość spiętrzenia,
 R – promień progu przelewowego.

Po uwzględnieniu wzorów (6), (8), (9) i podstawieniu do wzoru (7), a następnie przekształceniu, otrzymuje się równanie kwadratowe

$$H^2 - 2HR + \sqrt[3]{\frac{V^{*2}}{4\pi^4 N^2}} = 0 \quad (10)$$

Rozwiązaniem tego równania jest wartość

$$H = R - \sqrt{R^2 - \sqrt[3]{\frac{V^{*2}}{4\pi^4 N^2}}} \quad (11)$$

Ze wzoru (11) wynika, że wysokość spiętrzenia zwiększa się ze wzrostem obciążenia hydraulicznego i maleje ze wzrostem liczby obrotów.

WERSJA 2. Odbiór odcieku (przelewu) przez okienka przelewowe

Odbiór odcieku odbywa się przez prostokątne okienka (rys. 2). Wzór na powierzchnię odcieku ma postać

$$S = iBH \quad (12)$$

gdzie:

S – powierzchnia odcieku,
 i – liczba okienek przelewowych,
 B – szerokość okienka przelewowego,
 H – wysokość spiętrzenia.

Po podstawieniu wyrażenia (9) do wzoru (6), otrzymuje się wzór na prędkość wypływu odcieku

$$v = 2\pi N \sqrt{H(2R - H)} \quad (13)$$

Do wzoru na obciążenie hydrauliczne (7) wstawia się odpowiednio wyrażenia (9), (12) i (13), i otrzymuje się

$$V^* = 2\pi N \sqrt{H(2R - H)} iBH \quad (14)$$

Wzór (14) przekształca się w równanie czwartego stopnia względem H

$$H^4 - 2RH^3 + \frac{V^{*2}}{4\pi^2 N^2 i^2 B^2} = 0 \quad (15)$$

Następnie przyjmuje się, że

$$A = \frac{V^{*2}}{4\pi^2 N^2 t^2 B^2} \quad (16)$$

i otrzymuje się ostatecznie

$$H^4 - 2RH^3 + A = 0 \quad (17)$$

Równanie (17) jest wielomianem stopnia czwartego. Rozwiązanie wielomianu stopnia czwartego jest trudne, ale możliwe. W praktyce jednak zazwyczaj stosuje się metody przybliżone. Wielkość spiętrzenia H najłatwiej obliczyć numerycznie przez interpolację równania (15).

2. WZÓR NA WIELKOŚĆ ZIARNA PODZIAŁOWEGO d_{50}

Czas opadania t_{op} musi być równy czasowi transportu ziarna d_{50} na całej długości części sedimentacyjnej t_{poz}

$$\frac{H}{v_{op}} = \frac{L}{v_{poz}} \quad (18)$$

gdzie:

H – wysokość spiętrzenia,

L – długość części sedimentacyjnej wirówki

$$v_{op} = v_{poz} \frac{H}{L} \quad (19)$$

Prędkość opadania v_{op} ziarna w odśrodkowym polu sił jest ściśle związana z liczbą wirowania Z

$$v_{op} = v_s Z \rightarrow v_s = \frac{v_{op}}{Z} = \frac{v_{poz} H}{ZL} \quad (20)$$

v_s jest to prędkość opadania ziarna d_{50} w grawitacyjnym polu sił w wodzie o lepkości η .

Według Stokesa wzór na prędkość opadania ziarna v_s w grawitacyjnym polu sił wynosi (Bataglia 1958; Nowak 1982)

$$v_s = \frac{d_{50}^2 (G_s - G_c)}{18\eta} g \quad (21)$$

gdzie:

η – lepkość dynamiczna ośrodka,

g – przyspieszenie ziemskie,

G_s – gęstość właściwa ziarna,

G_c – gęstość właściwa cieczy.

Z porównania prędkości v_s (20) i (21) wynika wzór

$$\frac{d_{50}^2 (G_s - G_c) g}{18\eta} = \frac{v_{poz} H}{LZ}$$

stąd

$$d_{50} = \sqrt{\frac{18\eta v_{poz} H_s}{(G_s - G_c) g LZ}} \quad (22)$$

Prędkość pozioma ziarna v_{poz} nie może być mniejsza od poziomej prędkości posuwu zwoju ślimaka v_l

$$v_{poz} \geq v_l = sN$$

gdzie s – skok ślimaka.

Stąd przyjęto, że

$$v_{poz} = sN \quad (23)$$

Po wprowadzeniu wyrażenia (23) do wzoru (22) otrzymuje się ostateczny wzór na ziarno podziałowe d_{50}

$$d_{50} = \sqrt{\frac{18\eta s N H}{(G_s - G_c) g LZ}} \quad (24)$$

Z analizy powyższego równania wynika, że parametrem technologicznym, który ma wpływ na wielkość ziarna podziałowego jest obciążenie hydrauliczne (we wzorze reprezentowane przez wysokość spiętrzenia odcieku) i liczba obrotów wirówki. W warunkach przemysłowych najprostszym sposobem zmiany wielkości ziarna podziałowego jest zmiana obciążenia hydraulicznego wirówki.

3. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Wysokość spiętrzenia H i wielkość ziarna podziałowego d_{50} obliczono dla poniższych danych:

$$R = 0,45 \text{ m};$$

$$V^* = 60, 100, 120 \text{ i } 160 \text{ m}^3/\text{godz.};$$

$$i = 4;$$

$$B = 0,195 \text{ m};$$

$$s = 0,45 \text{ m};$$

$$N = 900, 1000, 1100 \text{ obr./min};$$

$$Z = 405, 500, 605;$$

$$L = 1,397 \text{ m};$$

$$\eta = 1177 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2};$$

$$G_s = 1450 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3};$$

$$G_c = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

Wysokość spiętrzenia obliczono numerycznie przez interpolację równania (15), natomiast wielkość ziarna podziałowego d_{50} obliczono według wzoru (24).

Poniżej, z uwzględnieniem powyższych danych, przedstawiono wpływ obciążenia hydraulicznego wirówki V^* i liczby obrotów wirówki na wysokość spiętrzenia H i wielkość ziarna podziałowego d_{50} .

Przy liczbie obrotów $N = 1000$ obr./min:

$V^* = 160$ m ³ /godz.,	$H = 6,92$ mm,	$d_{50} = 14,6$ μm,
$V^* = 120$ m ³ /godz.,	$H = 5,71$ mm,	$d_{50} = 13,3$ μm,
$V^* = 100$ m ³ /godz.,	$H = 5,06$ mm,	$d_{50} = 12,5$ μm,
$V^* = 60$ m ³ /godz.,	$H = 3,60$ mm,	$d_{50} = 10,5$ μm.

Przy obciążeniu hydraulicznym $V^* = 100$ m³/godz.:

$N = 1100$ obr./min,	$H = 4,75$ mm,	$d_{50} = 11,4$ μm,
$N = 1000$ obr./min,	$H = 5,06$ mm,	$d_{50} = 12,5$ μm,
$N = 900$ obr./min,	$H = 5,43$ mm,	$d_{50} = 13,5$ μm.

Obliczenia te obrazują wpływ liczby obrotów wirówki i obciążenia hydraulicznego na wielkość ziarna podziałowego. Ze wzrostem wielkości ziarna podziałowego większa masa fazy stałej przechodzi do przelewu (odcieku) wirówki. Masa fazy stałej, która przechodzi do przelewu, jest ściśle związana ze składem ziarnowym nadawy do wirówki.

PODSUMOWANIE

Wyprowadzone równania pozwalają na wyciągnięcie następujących uogólnień:

- Prędkość wypływu odcieku z wirówki jest proporcjonalna do liczby obrotów bębna wirówki.
- Wysokość spiętrzenia zwiększa się ze wzrostem obciążenia hydraulicznego i maleje ze wzrostem liczby obrotów wirówki.

Głównymi parametrami, które mają wpływ na wielkość ziarna podziałowego są: obciążenie hydrauliczne (we wzorze reprezentowane przez wysokość spiętrzenia odcieku) i liczba obrotów wirówki. W warunkach przemysłowych najprostszym sposobem zmiany wielkości ziarna podziałowego d_{50} jest zmiana obciążenia hydraulicznego wirówki. Możliwości zmniejszenia ziarna podziałowego przez zwiększenie liczby obrotów wirówki są ograniczone, ponieważ zwiększenie liczby obrotów wirówki powoduje większe siły tarcia na zwojach ślimaka transportującego osad oraz wymaga większego momentu obrotowego dla jego transportu. Następstwem tego jest szybsze zużywanie się ślimaka oraz większe obciążenie przekładni wirówki.

Z wielkością ziarna podziałowego jest ściśle związana ilość fazy stałej, jaka przechodzi do odcieku. Faza stała zawarta w odcieku stanowi źródło nieuniknionych strat niewielkich ilości węgla, a zagospodarowanie jej w warunkach przemysłowych jest dość uciążliwe. W związku z powyższym należy dążyć do zmniejszenia wielkości ziarna podziałowego, przez minimalizację obciążenia hydraulicznego wirówki.

Artykuł stanowi fragment pracy statutowej wykonanej w GIG (Dyduch 2006).

Literatura

1. Bataglia A. (1958): Odwadnianie produktów wzbogacania i obiegi wodne płuczek. Katowice, Wydaw. Górnictwo-Hutnicze.
2. Dyduch F. i in. (2006): Optymalizacja rozdziału faz w wirówkach sedymentacyjno-filtracyjnych ze względu na zawartość części stałych w odcieku i zawartość wilgoci. Praca statutowa GIG (niepublikowana).
3. Nowak Z. (1982): Gospodarka wodno-mułowa w zakładach przeróbki mechanicznej węgla. Katowice, Wydaw. „Śląsk”.

Recenzent: prof. dr hab. Jerzy Sablik