

УДК 621.928.3

В.М. Голубцов, професор, д.т.н.  
О.А. Усова, інженер

## ДО РОЗРАХУНКУ ЩІЛЬНОСТІ ПУЛЬПИ У НАПІРНИХ ГІДРОЦИКЛОНАХ

*Запорізька державна інженерна академія*

Приведена аналитическая зависимость по расчету плотности пульпы на входе в напорный гидроциклон для условия совместной работы линий его сливной и напорной насадок. Представлены результаты расчетов плотности пульпы по приведенной зависимости и выполнено сравнение их с полученными экспериментальными данными.

Ключевые слова: напорный гидроциклон, линии сливной и шламовой насадок, пульпа, плотность, расчет

Наведено аналітичну залежність щодо розрахунку щільності пульпи на вході до напірного гідроциклона за умови сумісної роботи ліній його зливної та шламової насадок. Подано результати розрахунків щільності пульпи за наведеною залежністю та виконано порівняння їх з одержаними експериментальними даними.

Ключові слова: напірний гідроциклон, лінії зливної та шламової насадок, пульпа, щільність, розрахунок

Analytical dependence over is presented at calculation of pulp closeness on input in force-feed hydrocyclone at the condition of joint work of lines for its downlow and slime bleeds. The results of calculation for pulp closeness on the brought dependence over are given and comparing of them with the experimental facts is executed.

Keywords: force-feed hydrocyclone, lines downlow and slime bleeds, pulp, closeness, calculation

*Вступ.* Напірні гідроциклони, що вживають для виділення зважених часток (пульпи) з рідкого розчину, використовують у промисловості. Разом з вирішенням питань підвищення якості очищення або міри збагачення продукції важливим є питання визначення продуктивності зазначених апаратів.

*Аналіз практичних даних і досягнень.* Існуючі емпіричні формули [1-9] для розрахункового визначення об'ємної продуктивності гідроциклона подано без урахування впливу щільності пульпи на його вході, а також ліній зливної й шламової насадок. Тому аналітичні залежності, які розроблено та представлено у роботі [10], дозволяють визначити об'ємну продуктивність гідроциклона з урахуванням вищезазначеної щільності.

*Постановка завдання.* У зв'язку з відсутністю аналітичних залежностей для розрахунку щільності пульпи в гідроциклонах мають місце складнощі під час розрахунків їх параметрів. Тому необхідно розробити залежності, які б визначали щільність пульпи з наступним їх використанням під час розрахунків об'ємної продуктивності й інших параметрів напірних гідроциклонів, чому і присвячується дана стаття.

*Виклад матеріалів досліджень.* Щільність пульпи у гідроциклоні визначають, виходячи із загальноприйнятих представлень [11], як відношення маси речовини до його об'єму, або відношення масової продуктивності гідроциклона до його об'ємної продуктивності, тобто

$$\rho = \frac{m}{Q}, \quad (1)$$

де  $m$  – масова продуктивність пульпи, кг/с,  $m = G + W$ ;  $W, G$  – відповідно масова продуктивність рідкої та твердої фази пульпи, кг/с;  $Q$  – об’ємна продуктивність пульпи, м<sup>3</sup>/с.

Об’ємну продуктивність пульпи гідроциклона розраховують за формулою прикладу «а» роботи [9], яку доповнено для використання під час розрахунку будь-якої рідини, що утворює пульпу, та представлено у наступному вигляді

$$Q = \frac{G}{\rho_{\delta\dot{a}}} + \frac{W}{\rho_{\delta}} = G \cdot \left( \frac{1}{\rho_{\delta\dot{a}}} + \frac{R}{\rho_{\delta}} \right), \quad (2)$$

де відношення  $G/\rho_{m\epsilon}$ ,  $W/\rho_p$  визначають об’ємну продуктивність твердої та рідкої фази пульпи, м<sup>3</sup>/с, відповідно.

Виходячи з формули (2) щільність пульпи, яка складається з твердої та рідкої фази, на підставі співвідношення (1) можна визначити як

$$\rho = \frac{m}{Q} = \frac{G+W}{\frac{G}{\rho_{\delta\dot{a}}} + \frac{W}{\rho_{\delta}}} = \frac{\rho_{\delta} \cdot (1+R) \cdot \rho_{\delta\dot{a}}}{\rho_{\delta} + \rho_{\delta\dot{a}} \cdot R} = \frac{(1+R) \cdot \rho_{\delta\dot{a}}}{1 + \frac{\rho_{\delta\dot{a}} \cdot R}{\rho_{\delta}}}, \quad (3)$$

де  $\rho$  – щільність пульпи, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_p, \rho_{m\epsilon}$  – відповідно щільність рідкої і твердої фази, кг/м<sup>3</sup>;  $R$  – міра розрідження пульпи, кг/кг

З формули (3) виходить, що щільність пульпи, що складається з твердої та рідкої фази, визначається їх щільністю та мірою розрідження  $R$ . Значення щільності рідкої та твердої фази пульпи зазвичай є відомими. Початковою мірою розрідження на вході до гідроциклона  $R$  задаються, або визначають її за формулою

$$R = \frac{D}{O} = \frac{100 - T}{T}, \quad (4)$$

де  $T, P$  (%) – відсотковий вміст твердої та рідкої фази у пульпі, відповідно.

Тому розрахункове визначення щільності пульпи на вході до гідроциклона не спричинює ускладнень.

Міра розрідження пульпи у лініях зливної та шламової насадок гідроциклона, відповідно до формули (4), визначається вмістом у них твердої фази, який, в свою чергу, визначається уловлюючою спроможністю гідроциклона та залежить як від конструктивних, так і режимних його параметрів.

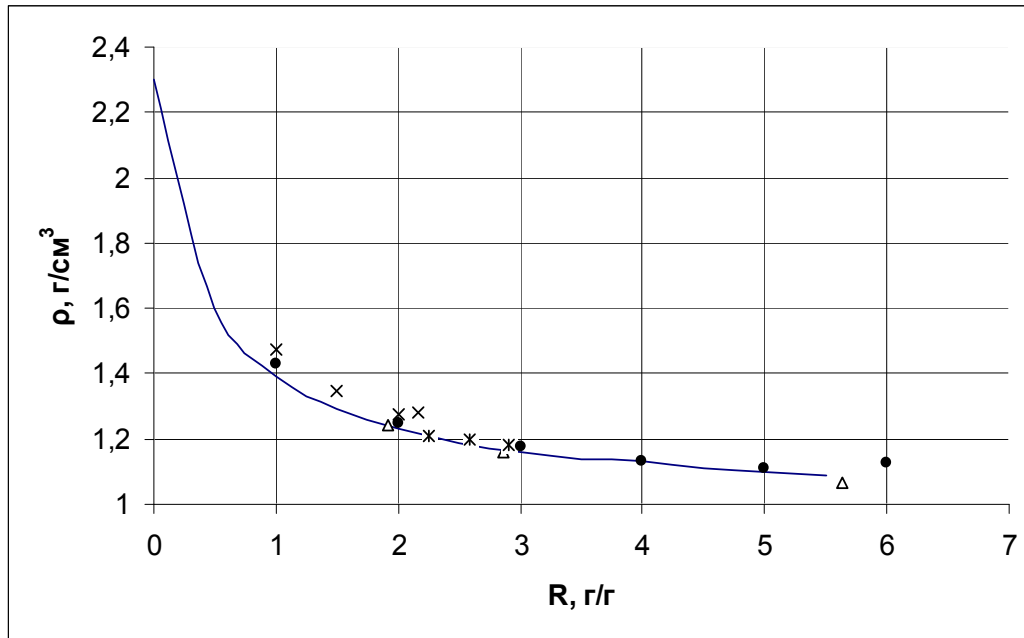
Якщо щільність твердої  $\rho_{m\epsilon}$  та рідкої  $\rho_p$  фаз в пульпі є постійними величинами, то щільність пульпи  $\rho$ , згідно із формулою (3), залежить тільки від міри розрідження  $R$ . Тому, задаючись різними значеннями міри розрідження  $R$  за формулою (3) здійснювали розрахунок щільності  $\rho$  для пульпи, що складається з суміші гашеного вапна (пушонка) з щільністю  $\rho_{m\epsilon} = 2,3$  г/см<sup>3</sup> і водопровідної води з щільністю  $\rho_p = 1,0$  г/см<sup>3</sup>. Результати розрахунків подано у табл. 1.

**Таблиця 1** – Результати розрахунку щільності пульпи за різного розрідження

$R, \text{ г/г}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
$\rho, \text{ г/см}^3$	2,30	1,60	1,39	1,29	1,23	1,19	1,16	1,14	1,13	1,11	1,10	1,09

З табл. 1 видно, що за  $R = 0$  щільність пульпи дорівнює щільності твердої фази ( $\rho = \rho_{тв} = 2,3 \text{ г/см}^3$ ), за  $R \Rightarrow \infty$  щільність пульпи дорівнює щільності рідкої фази, тобто ( $\rho = \rho_p = 1,0 \text{ г/см}^3$ ), і відповідає фізичному сенсу.

За даними табл. 1 на рис. 1 побудовано лінію, що показує змінювання щільності пульпи під час змінювання міри її розрідження.



**Рисунок 1** – Змінювання щільності пульпи за змінюванням міри її розрідження  
 — розрахунок за формулою (4); досліді:  
 Δ -  $W = 29 \text{ см}^3 = \text{const}$ ,  $G = \text{var}$ ;  $G = 15,1 \text{ г} = \text{const}$ ,  $W = \text{var}$ ;  
 x -  $G = 19,8 \text{ г} = \text{const}$ ,  $W = \text{var}$ ; □ -  $G = 5 \text{ г} = \text{const}$ ,  $W = \text{var}$

Можна бачити, що за збільшенням міри розрідження пульпи її щільність зменшується. На рис. 1 також показано експериментальні значення щільності пульпи, які відповідають різній мірі розрідження. Під час проведення експериментів як пульпу використовували суміш, що складається з гашеного вапна (пушонка) та водопровідної води. В процесі виконання експериментів, за постійним вмістом твердої фази  $G = \text{const}$ , змінювали міру розрідження суміші  $R$  за рахунок змінювання вмісту рідкої фази  $W$  додаванням води та, навпаки, за постійним вмістом рідкої фази  $W = \text{const}$ , змінювали кількість твердої фази  $G$  додаванням вапна. При цьому наважки вапна  $G$  зважували на електронних вагах, а об'єми води  $W$  і пульпи  $V$  вимірювали в градуйованій пробірці. Результати вимірювань представлено у табл. 2 і 3.

**Таблиця 2** – Результати вимірювань складових пульпи за  $G = \text{const}$

Номер досліді	1	2	3	4	5	6
$G$ , г	19,84 г					
$W$ , мл	10	10 + 10 = 20	20 + 10 = 30	30 + 10 = 40	40 + 10 = 50	-
$V$ , мл	твердий	27	37	47	49	-
$G$ , мл	5,00 г					
$W$ , мл	5	10	15	20	25	30
$V$ , мл	7	12	17	22	27	31
$G$ , мл	15,10 г					
$W$ , мл	34	39	44	-	-	-
$V$ , мл	40,5	45	50	-	-	-

**Таблиця 3** – Результати вимірювань складових пульпи за  $W = \text{const}$

Номер досліду	1	2	3
$W$ , мл	29,0 г		
$G$ , г	5,14	+5,01 = 10,15	+4,95 = 15,10
$V$ , мл	32,0	33,5	35,5

За результатами експериментів розраховували міру розрідження  $R$ , масу пульпи  $m$ , а її щільність  $\rho$  обчислювали за формулою (1). Масу пульпи визначали з умови, що 1,0 мл складає 1,0  $\text{cm}^3$  і для рідкої фази дорівнює 1,0 г.

Результати розрахунків подано у табл. 4 і 5.

**Таблиця 4** – Результати розрахунків щільності пульпи за експериментальними даними коли  $G = \text{const}$

Номер досліду	1	2	3	4	5	6
$G$ , г	19,84 г					
$m$ , г	твердий	39,84	49,84	59,84	62,84	-
$R$ , г/г	0,50	1,00	1,50	2,00	2,16	-
$\rho$ , $\text{г/см}^3$	-	1,475	1,347	1,275	1,280	
$G$ , г	5,0 г					
$m$ , г	5	10	15	20	25	30
$R$ , г/г	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$\rho$ , $\text{г/см}^3$	1,428	1,250	1,176	1,130	1,110	1,129
$G$ , г	15,1 г					
$m$ , г	49,1	54,1	59,1	-	-	-
$R$ , г/г	2,25	2,58	2,91	-	-	-
$\rho$ , $\text{г/см}^3$	1,210	1,200	1,180	-	-	-

**Таблиця 5** – Результати розрахунку щільності пульпи за експериментальними даними коли  $W = \text{const}$

Номер досліду	1	2	3
$W$ , мл	29 г = const		
$m$ , г	34,14	39,16	44,10
$R$ , г/г	5,64	2,86	1,92
$\rho$ , $\text{г/см}^3$	1,067	1,16	1,24

Одержані таким чином значення щільності пульпи наносили на рис. 1. Аналіз цього рисунка показує задовільне збігання експериментальних і розрахункових результатів, яке знаходиться у межах точності експерименту, що виконували. Це свідчить, що формулу (3) можна застосовувати для розрахунків щільності пульпи у напірних гідроциклонах. Так само можна визначити, що на величину щільності пульпи впливає тільки міра розрідження, тоді як абсолютні значення твердої або рідкої фаз, що знаходяться у пульпі, на величину щільності пульпи не впливають. Так за мірою розрідження, що дорівнює двом щільність пульпи, за експериментальними даними, незалежно від вмісту в ній кількості твердої або рідкої фази складає в середньому 1,26  $\text{г/см}^3$  (1,26  $\text{т/м}^3$ ). Експериментами встановлено, що коли міра розрідження складає менше за одиницю, то пульпа перетворюється на сиру тверду масу.

*Висновки.*

1. Запропоновано аналітичну залежність для розрахунків щільності, що можна застосовувати для визначення об'ємної та масової продуктивності пульпи на вході до напірного гідроциклона, а також у лініях його зливної та шламової насадок.

2. На величину щільності пульпи, за відомої щільності твердої та рідкої фази, впливає тільки міра її розрідження, а абсолютні значення твердої або рідкої фази, що знаходяться у пульпі, на величину її щільності не впливає. При цьому збільшення розрідження пульпи призводить до зменшення її щільності.

3. Для дослідженої пульпи (вапняне молоко) за мірою розрідження менше ніж одиниця, відбувається її затвердіння.

### ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Chaston, J. P. M.* A simple formula for calculating the approximate capacity of a hydro-cyclone / J. P. M. Chaston [Text] // Bull. of the Instn. of Min. and Metall. – 1958. – N 615. – P. 203-208; N 617, p. 358-365; N 621, p. 601-603.
2. *Скирдов, И. В.* Очистка сточных вод [Текст] / И. В. Скирдов, В. Г. Пономарев. – М : Обогащение руд, 1960. – 176 с. – Библиогр. : с. 173-175.
3. *Шмачков, И. А.* К вопросу определения производительности гидроциклона [Текст] / И. А. Шмачков // Научные труды Харьковского горного института. – Харьков: ХГИ, 1962. – Т XII. – С. 157-161.
4. *Барский, В. Г.* О методе расчета производительности гидроциклона [Текст] / В. Г. Барский // Известия вузов. Цветная металлургия. – 1963. – № 6. – С. 51-63.
5. *Клячин, В. Т.* Расчет гидроциклонов [Текст] / В. Т. Клячин, В. И. Ревнивцев // Труды института Уралмеханобр. – 1963. – Вып. 10. – С. 51-78.
6. *Поваров, А. И.* Расчет производительности гидроциклонов [Текст] / А. И. Поваров, А. А. Щербаков // Обогащение руд. – 1965. – № 2. – С. 3-10.
7. *Шестов, Р. Н.* Гидроциклоны [Текст] / Р. Н. Шестов. – Л. : Машиностроение, 1967. – 79 с. – Библиогр. : с. 77-78.
8. *Поваров, А. И.* Гидроциклоны на обогатительных фабриках [Текст] / А. И. Поваров. – М. : Недра, 1978. – 231 с. – Библиогр. : с. 197-203.
9. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы [Текст] : под ред. *О. С. Богданова, В. А. Олевского.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1982. – 366 с. – Библиогр. : с. 362-364.
10. *Голубцов, В. М.* К расчету производительности напорных гидроциклонов [Текст] / В. М. Голубцов // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2011. – Вип. 23. – С. 175-179.
11. *Павлов, К. Ф.* Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии [Текст] / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – М. : ; Л. : Химия, 1987. – 576 с. – Библиография в конце каждого раздела.
12. *Голубцов, В. М.* О влиянии плотности пульпы на объемную производительность напорного гидроциклона [Текст] / В. М. Голубцов // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2012. – Вип. (3) 28. – С. 161-165.

Стаття надійшла до редакції 25.12.2013 р.  
Рецензент, проф. В.І. Сокольник

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука  
<http://www.zgia.zp.ua>