

УДК 658.011.56

В. О. Кондратець, канд. техн. наук, проф.; А. М. Мацуй, канд. техн. наук**ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗБУРЕНЬ НА ПОКАЗАННЯ
ВІДКРИТОГО ЗНИЗУ ГІДРОСТАТИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА**

Наведено результати теоретичних досліджень впливу збурень на показання відкритого низу гідростатичного перетворювача. Показано, що на результати вимірювання гідростатичним перетворювачем впливають густина контрольованого середовища, атмосферний тиск, температура навколишнього середовища, зміна об'єму повітря в пристрої за рахунок його розчинення чи наповнення. Додатково внесені похибки не дозволяють безпосередньо використовувати гідростатичний перетворювач для вимірювання рівня та тиску рідких середовищ.

Вступ

В Україні частка металургійної сировини, отримуваної шляхом збагачення бідних залізних руд, з року в рік зростає. Однією з енерго- і матеріаловитратних технологій в процесах збагачення корисних копалин є подрібнення руди у кульових млинах. Для подрібнення міцних руд в Україні отримала розповсюдження технологічна схема, де кульовий млин працює в замкнутому циклі з двоспіральним класифікатором, тобто переробляє мокрий пісковий продукт. Кульовий млин забезпечує найкращі показники за певного розрідження пульпи в ньому в залежності від типу і крупності перероблюваної руди. Внаслідок невідтримання розрідженості пульпи на необхідному рівні кульовий млин перевитрачає електричну енергію, кулі, футеровку та знижує вихід готового продукту. Це призводить до значних збитків і не відповідає вимогам законодавства України щодо впровадження енерго- та ресурсозбережних технологій в промисловості. Конкретизовано цю проблему в Державній науково-технічній програмі «Ресурсозберігаючі технології нового покоління в гірничо-металургійному комплексі», затвердженій Законом України «Про основи державної політики у сфері науки і науково-технічної діяльності», у напрямі «Розробка технологій видобутку та збагачення сировинних матеріалів для металургійного виробництва, у тому числі з використанням відходів виробництва». Конкретна задача розв'язується в процесі виконання наукової теми «Система комп'ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора» (0107U005470). Матеріали публікації є результатами частини наукових досліджень, виконаних в рамках цієї теми.

Автоматизацією розрідження пульпи займалися в різні роки як зарубіжні, так і вітчизняні вчені, однак зусилля, в основному, спрямовувалися на першу стадію подрібнення. Для автоматичного підтримання розрідження пульпи під час подрібнення пісків двоспірального класифікатора запропоновано лише один засіб [1], однак попадання скрапу, інших випадкових включень в матеріальний потік не дозволяють його ефективно застосовувати. Авторами цієї статті запропоновано підхід до визначення співвідношення руда/вода [2] в таких технологічних умовах. Цей підхід дозволить створити систему автоматичного керування параметром. Його реалізація потребує визначення рівня і тиску пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника. Для таких цілей найпридатнішим є відкритий низу гідростатичний перетворювач [3]. Він є простим, надійним, швидкодійним технічним засобом, однак на його показання впливають збурення. Дослідженням впливу збурень на показання відкритого гідростатичного перетворювача ніхто не займався.

Метою роботи є теоретичне дослідження впливу збурень на показання відкритого низу гідростатичного перетворювача у складі приймального пристрою завиткового живильника.

Розв'язання задачі

Отримана статична математична модель відкритого низу гідростатичного перетворювача має такий вигляд [4]:

$$P_{\Pi} = \frac{[P_{a2} - \gamma g (H_{\Pi} - H_C)] + \sqrt{[\gamma g (H_{\Pi} - H_C) - P_{a2}]^2 + 4P_{a1}H_{\Pi}\gamma g}}{2}, \quad (1)$$

де P_{Π} – тиск повітря в перетворювачі (вихідна величина); P_{a1} , P_{a2} – відповідно атмосферний тиск при заповненні перетворювача та вимірюванні; H_{Π} , H_C – відповідно висота патрубка перетворювача та рівень пульпи (вхідна величина); γ – густина пульпи; g – прискорення земного тяжіння.

Зважаючи, що тиск на вході перетворювача дорівнює $P_{вх} = P_{a2} + \gamma g H_C$, залежність (1) можна подати у вигляді

$$P_{\Pi} = \frac{1}{2} \left[P_{вх} - \gamma g H_{\Pi} + \sqrt{(P_{вх} - \gamma g H_{\Pi})^2 + 4P_{a1}H_{\Pi}\gamma g} \right]. \quad (2)$$

Залежності (1) і (2) показують, що відкритий знизу гідростатичний перетворювач за незмінних інших параметрів можна використовувати для вимірювання рівня пульпи та її тиску у донній частині приймального пристрою завиткового живильника. За певних незмінних значень параметрів тиск у перетворювачі лінійно залежить від рівня пульпи або її тиску у донній частині. У (1) і (2) висота патрубка перетворювача H_{Π} і g є незмінними. Для умов приймального пристрою завиткового живильника H_{Π} може дорівнювати 0,6 м. Інші параметри змінюються. Їх зміна спричиняє похибку вимірювання. Відповідно до статичних моделей (1), (2) збуреннями є густина пульпи γ і атмосферний тиск P_{a1} .

Дослідимо вплив збурень на показання відкритого знизу гідростатичного перетворювача, використовуючи залежності (1) і (2). Враховуючи, що для ідентифікації співвідношення руда/вода в приймальному пристрої завиткового живильника використовується наднормальний тиск $P_{\Pi H}$, розраховувалася відносна похибка перетворювача за наднормальним тиском для різних значень густини пульпи. Дані розрахунків наведені в табл. 1, з якої випливає, що з ростом густини пульпи похибка збільшується. Відносні похибки визначення зростання рівня пульпи за наднормального тиску зі зміною густини значно більші, ніж за умови повного тиску і можуть досягати 39 %. Зміна густини пульпи на 200 кг/м³ викликає похибку визначення рівня на 10 %.

Таблиця 1

Значення відносної похибки (%) визначення рівня пульпи за наднормальним тиском перетворювача для різних густин

Густина пульпи, кг/м ³	Рівень пульпи, м				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1800	0	0	0	0	0
2000	10,08	10,05	10,02	9,99	9,95
2200	20,00	19,93	19,86	19,78	19,71
2400	29,75	29,64	29,52	29,40	29,27
2600	39,35	39,18	39,01	38,83	38,64

Залежності відносної похибки визначення тиску вимірюваного середовища за допомогою відкритого знизу гідростатичного перетворювача за наднормальним тиском від густини пульпи для різних значень її рівня показані на рис. 1. З графіків рис. 1 випливає, що відносна похибка визначення тиску пульпи зростає зі збільшенням її густини і рівня в приймальному пристрої завиткового живильника. Однак відносні похибки значно менші, ніж при визначенні рівня пульпи. Їх найбільші значення змінюються в межах 0,785...3,669 %.

До залежності (1) входить атмосферний тиск P_{a1} , зі значенням у момент заповнення перетворювача, а враховуватися буде значення атмосферного тиску P_{a2} в момент вимірювання. Враховуючи, що атмосферний тиск може змінюватися на 100 гПа і навіть на 200 гПа [5],

його слід віднести до збурювальних факторів. У дослідженнях беремо діапазон зміни атмосферного тиску в межах 700...820 мм рт. ст., який звичайно реалізують у стандартних пристроях його вимірювання. Оскільки під час заповнення перетворювача пульпою може бути будь-яке значення атмосферного тиску, за базове його значення візьмемо найменше, що знаходиться на початку діапазону. Це буде найскладніший випадок, що призведе до найбільшого розходження результатів визначення шуканих параметрів.

Залежність відносної похибки відкритого знизу гідростатичного перетворювача від атмосферного тиску за різних рівнів пульпи показана на рис. 2. З графіків рис. 2 видно, що зі зміною атмосферного тиску відносна похибка може досягати 17,0 %. Вона буде дещо більшою у разі зменшення рівня пульпи, однак рівень пульпи її змінює не більше ніж на 1,0 %.

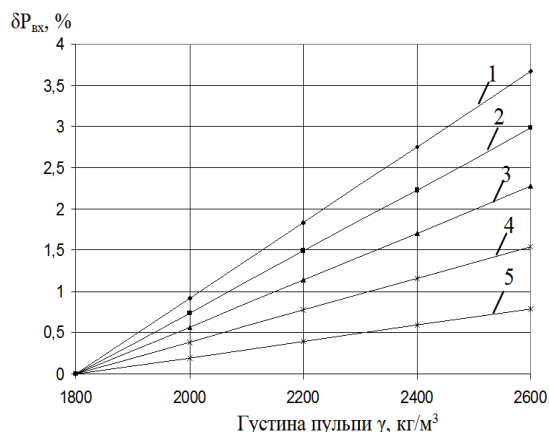


Рис. 1. Залежність відносної похибки перетворювача від густини пульпи при визначенні наднормального тиску і різних значеннях рівня: 1 – 0,5 м; 2 – 0,4 м; 3 – 0,3 м; 4 – 0,2 м; 5 – 0,1 м

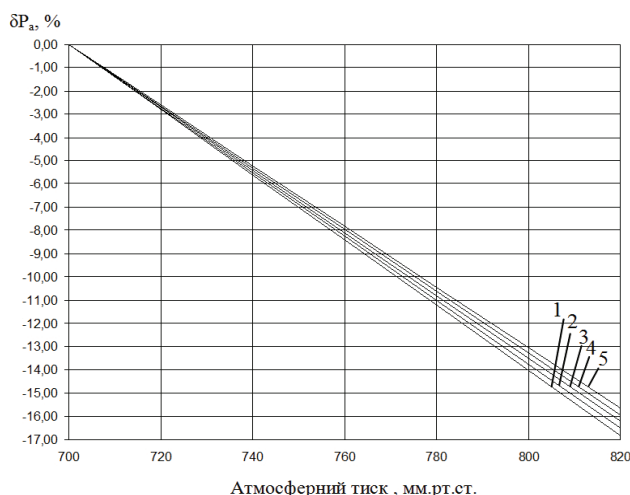


Рис. 2. Залежність відносної похибки перетворювача від зміни атмосферного тиску, якщо $\gamma_{\Pi} = 2200 \text{ кг/м}^3$ і значеннях рівня пульпи: 1–0,1 м; 2–0,2 м; 3–0,3 м; 4–0,4 м; 5–0,5 м

Набагато менше впливає на похибку зміна густини пульпи (табл. 2).

Таблиця 2

Значення відносної похибки (%) визначення рівня пульпи $H_c = 0,3 \text{ м}$ за наднормальним тиском перетворювача для різних густин і атмосферних тисків

Густина пульпи, кг/м^3	Атмосферний тиск, мм рт. ст.						
	700	720	740	760	780	800	820
1800	0,00	-2,73	-5,45	-8,18	-10,91	-13,63	-16,36
2000	0,00	-2,72	-5,43	-8,15	-10,86	-13,58	-16,29
2200	0,00	-2,71	-5,41	-8,12	-10,82	-13,52	-16,23
2400	0,00	-2,70	-5,39	-8,09	-10,78	-13,47	-16,16
2600	0,00	-2,69	-5,37	-8,06	-10,74	-13,42	-16,11

Крім того, відкритий знизу гідростатичний перетворювач може заповнюватися пульпою за однієї температури навколишнього середовища, а вимірювання будуть здійснюватися за інших температур. Розглянутий вплив зміни температури на результат визначення рівня пульпи на підставі закону Гей-Люссака [6] враховує скорегована математична модель (1) перетворювача

$$P_{\Pi} = \frac{\left[P_{a2} - \gamma g \left(H_{\Pi} \frac{T_2}{T_1} - H_C \right) \right] + \sqrt{\left[\gamma g \left(H_{\Pi} \frac{T_2}{T_1} - H_C \right) - P_{a2} \right]^2 + 4 P_{a1} H_{\Pi} \gamma g}}{2}, \quad (3)$$

де T_1, T_2 — відповідно, значення абсолютних температур при заповненні перетворювача повітрям і вимірюванні.

Прийнявши заповнення перетворювача за умови параметрів стандартної атмосфери і враховуючи зміни температури навколишнього середовища [5, 7], отримаємо найбільший діапазон зміни похибки. За цих умов відносна похибка може досягати 1,65 %.

У пульпі, що заповнює приймальний пристрій завиткового живильника, можуть знаходитись бульбашки повітря. У разі попадання їх в зону отвору первинного перетворювача вони будуть підніматись у стовпі пульпи, що знаходиться в його внутрішній порожнині, і приєднуюватись до повітряного об'єму чутливого елемента, викривляючи початкові умови вимірювання.

У разі тривалого використання перетворювача без звільнення приймального пристрою завиткового живильника від пульпи об'єм повітря в ньому може збільшуватись на значну величину. Припустимо, що максимальне збільшення об'єму повітря у внутрішній порожнині перетворювача складає 30 %. При цьому слід розрізняти початковий об'єм V_1 повітря в перетворювачі і об'єм V'_1 , збільшений за рахунок потрапляння бульбашок. Тоді, за аналогією з впливом температури на відкритий знизу гідростатичний перетворювач, можна вивести залежність для його вихідної величини. Тут замість відношення температур T_2/T_1 буде фігурувати відношення об'ємів V'_1/V_1 . Повний тиск в перетворювачі буде визначатись залежністю

$$P_{\Pi} = \frac{\left[P_{a2} - \gamma g \left(H_{\Pi} \frac{V'_1}{V_1} - H_C \right) \right] + \sqrt{\left[\gamma g \left(H_{\Pi} \frac{V'_1}{V_1} - H_C \right) - P_{a2} \right]^2 + 4P_{a1}H_{\Pi}\gamma g}}{2} \quad (4)$$

Рівняння (4) встановлює зв'язок повного тиску в перетворювачі і зміни об'єму повітря в його внутрішній порожнині внаслідок попадання повітряних бульбашок. Зміну об'єму повітря будемо виражати у відсотках від 0 до 30 %. Зміну стану перетворювача оцінюватимемо за відносною похибкою δV , %, визначеною за наднормальним тиском.

Значення відносної похибки перетворювача при $\gamma_{\Pi} = 2200 \text{ кг/м}^3$ і зміні об'єму повітря в ньому з різними рівнями пульпи наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Значення відносної похибки перетворювача (%) зі зміною об'єму повітря і різних рівнях пульпи

Рівень пульпи, м	Додатковий об'єм повітря, %						
	0	5	10	15	20	25	30
0,1	0,00	0,57	1,15	1,72	2,29	2,86	3,43
0,2	0,00	0,57	1,13	1,69	2,26	2,82	3,38
0,3	0,00	0,56	1,11	1,67	2,23	2,78	3,33
0,4	0,00	0,55	1,10	1,65	2,19	2,74	3,29
0,5	0,00	0,54	1,08	1,62	2,16	2,70	3,24

З даних табл. 3 випливає, що збільшення об'єму повітря в перетворювачі призведуть до виникнення похибки вимірювання рівня пульпи. В заданих умовах похибка може складати більше 3 %. Вона дещо зменшується зі збільшенням рівня пульпи.

Сім'я залежностей відносної похибки вимірювання рівня пульпи від додаткового об'єму повітря в перетворювачі для різних густин середовища показана на рис. 3. Із залежностей видно, що зростання густини пульпи призводить до збільшення похибки. Відхилення тиску в перетворювачі більш чутливе до зміни густини пульпи порівняно з її рівнем. Відносна похибка при найбільших густинах і зміні додаткового об'єму може сягати майже 4 %. Такий самий ефект буде виникати через розчинення повітря, що знаходиться у внутрішній порожнині перетворювача у пульпі.

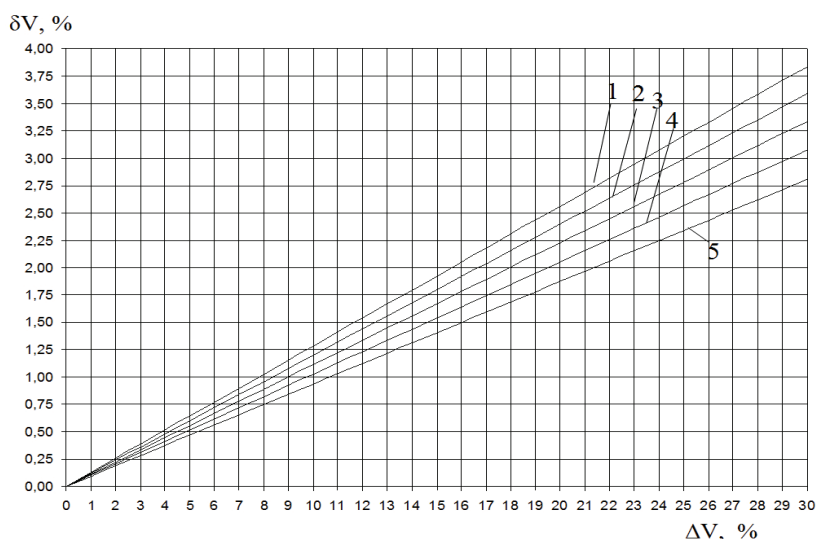


Рис. 3. Залежність відносної похибки вимірювання рівня пульпи $H_c = 0,3$ м від додаткового об'єму повітря в перетворювачі для густин пульпи: 1 — 2600 кг/м³; 2 — 2400 кг/м³; 3 — 2200 кг/м³; 4 — 2000 кг/м³; 5 — 1800 кг/м³

Висновки

Стан відкритого низу гідростатичного перетворювача, крім вимірюваної величини, визначається густиною пульпи, атмосферним тиском, температурою навколишнього середовища та бульбашками повітря, що потрапляють у внутрішню порожнину чутливого елемента або видаляються з неї шляхом розчинення у вимірюваному середовищі. Негативний вплив цих факторів здійснюється як при визначенні тиску пульпи, так і її рівня. У разі зміни температури навколишнього середовища додаткова похибка вимірювання рівня може зрости до 2 %, об'єму повітря в перетворювачі — до 4 %, атмосферного тиску — до 17 %, густини пульпи — до 39 %. Це не дозволяє безпосередньо використати відкритий низу гідростатичний перетворювач для визначення рівня і тиску пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника.

Перспективою подальших досліджень є забезпечення повної чи часткової інваріантності перетворювача щодо впливу розглянутих збурень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А. с. 388790 СССР, МКИ В 03 b 11/00. Устройство для автоматического контроля загрузки и стабилизации разжижения пульпы в мельнице / Ф. Н. Дегтярев, А. А. Мерзляков, В. А. Кондратец, В. И. Новохатько, Н. И. Кучма и Т. И. Гуленко (СССР); Научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт автоматизации черной металлургии. — № 1420849/29-33; заявл. 30.03.70; опубл. 05.07.73, Бюл. № 29.
2. Кондратец В. О. Ідентифікація співвідношення руда/вода в процесі подрібнення пісків класифікатора / В. О. Кондратец, А. М. Мацуй // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2009. — № 3. — С. 8—12.
3. Кондратец В. О. Аналіз умов і засобів ідентифікації розрідження пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника / В. О. Кондратец, А. М. Мацуй // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць КНТУ. — 2009. — № 22. — С. 36—43.
4. Кондратец В. О. Теоретичне дослідження відкритого перетворювача параметрів рідких середовищ / В. О. Кондратец, А. М. Мацуй // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць КНТУ. — 2008. — № 21. — С. 49—54.
5. Хромов С. П. Метеорология и климатология / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. — М. : изд-во МГУ, 1994. — 570 с.
6. Аленицын А. Г. Краткий физико-математический справочник / А. Г. Аленицын, Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев. — М. : Наука, 1990. — 368 с.
7. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Система стандартов безопасности труда : ГОСТ 12.1.005-88. [Введен 01.01.89 г.] — М. : Гос. ком. СССР по стандартам, 1988. — 74 с. — (Межгосударственный стандарт).

Рекомендована кафедрою метрології та промислової автоматики

Стаття надійшла до редакції 5.11.12
Рекомендована до друку 28.11.12

Кондратец Василь Олександрович — професор, **Мацуй Анатолій Миколайович** — доцент.

Кафедра автоматизації виробничих процесів, Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград