

Теоретичне дослідження відкритого гідростатичного перетворювача параметрів рідких середовищ

У статті приведені результати теоретичних досліджень відкритого гідростатичного перетворювача параметрів рідких середовищ. Показано, що вихідний сигнал перетворювача залежить як від рівня рідкого середовища, так і від його повного тиску. На перетворювач здійснює вплив густина рідкого середовища при визначенні і рівня, і тиску. Висота перетворювача для умов приймального пристрою завиткового живильника може складати 0,6 м.

відкритий гідростатичний перетворювач, рівень, тиск, математична модель, завитковий живильник

Україна виробляє значну кількість чавуну і сталі з залізних руд, які в основному необхідно збагачувати. Подрібнення руд перед збагаченням переважно здійснюють в кульових млинах. У сучасних умовах виробництва на подрібнення витрачають до 50% енергії та матеріалів, які необхідні для здійснення технологічних процесів. Тому велику увагу приділяють автоматичному керуванню процесами подрібнення. Порівняно широке розповсюдження отримав цикл подрібнення, що включає стрижневий млин у розімкнутому циклі та кульовий млин, який працює у замкнутому циклі з спіральним механічним класифікатором. У даному циклі кульовий млин виконує основне навантаження по подрібненню руди, однак в наслідок відсутності належного керування допускає значні енергетичні та матеріальні перевитрати. Тому розв'язання проблеми автоматизації управління таким кульовим млином спрямовано на реалізацію напрямку “Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та аграрному комплексі”, передбаченого законом України від 11 липня 2001 року №2623-III “Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки”. Матеріали даної статті також стосуються виконання науково-дослідної роботи “Система комп'ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора” (державний реєстраційний номер 0107U005470), спрямованої на розв'язання даної проблеми.

Автоматична стабілізація розрідження пульпи в кульових млинах, які подрібнюють піски двоспіральних класифікаторів, є складовою цієї проблеми в наслідок того, що кількість води в твердому визначає умови роботи куль і транспортування готового продукту в технологічному агрегаті. Це підтверджують А.М. Бонч-Бруєвич, В.Л. Биков, П.І. Чинаєв, вказуючи, що оптимальну продуктивність кульового млина, при якій забезпечується максимальний вихід готового продукту, можливо отримати лише при певному навантаженні технологічного агрегату та певному співвідношенні руда/вода [1].

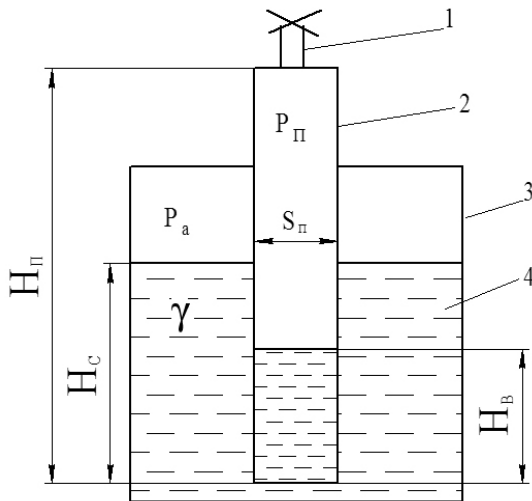
Розв'язанням задачі автоматичного підтримання заданого співвідношення руда/вода в млинах з циркулюючим навантаженням в різні роки займалися В.І. Дмитрієв, Д.А. Клименко, А.П. Савілов, А.А. Сатаненко, А.Л. Яровіцин та інші [2, 3, 4, 5]. Однак запропоновані засоби не підходять для автоматизації циклів подрібнення, що розглядаються. Для млинів, що подрібнюють піски класифікатора, Ф.М. Дегтярьов, О.О. Мерзляков, В.О. Кондратець, В.І. Новохатько, М.І. Кучма, Т.І. Гуленко розробили пристрій, який дозволяє ефективно стабілізувати співвідношення тверде/рідке [6], однак існує небезпека забивання його скрапом і

сторонніми предметами. Інших засобів не розроблялося. Тому тема статті, спрямованої на розв'язання частини цієї проблеми, є актуальною.

Метою даної роботи є розробка математичної моделі відкритого гідростатичного перетворювача параметрів рідких середовищ і виявлення його можливостей у розв'язанні задачі стабілізації співвідношення твердого і рідкого.

Відкритий гідростатичний перетворювач можливо виконати у вигляді відрізка циліндричної труби достатньо великого діаметра, який вертикально встановлено у приймальному пристрої завиткового живильника на відстані від днища, що відповідає початковому рівню захоплення матеріалу. Вихідною величиною перетворювача є тиск повітря в його порожнині, а вхідною – тиск рідкого середовища, що його оточує. Знизу перетворювач повністю відкритий. У верхній частині він закритий і через штуцер імпульсною трубкою з'єднаний з вторинним перетворювачем тиску в електричний сигнал.

При заповненні приймального пристрою завиткового живильника пульпою вона заходить у внутрішню порожнину перетворювача і стискує в ньому повітря під дією вимірюваного середовища, що знаходиться вище його нижньої кромки. Схематичне зображення перетворювача подано на рис.1. Знайдемо зв'язок тиску в перетворювачі P_{II} з рівнем пульпи H_C .



1 – штуцер; 2 – відрізок труби; 3 – приймальний пристрій завиткового живильника; 4 – пульпа

Рисунок 1 - Схематичне зображення відкритого гідростатичного перетворювача

Первинний перетворювач працює при незмінній масі газу і змінних об'ємах, тому для нього справедлива залежність $P_1V_1 = P_2V_2$ або

$$P_{a1}V_1 = P_{II}V_2, \quad (1)$$

де P_{II}, P_{a1} - відповідно тиск повітря в перетворювачі і атмосферний тиск при його заповненні повітрям;

V_1, V_2 - відповідно об'єм газу у відкритому знизу перетворювачі при атмосферному тиску і зменшений об'єм газу в перетворювачі під дією вимірюваного середовища.

З рівняння (1) можна визначити тиск у перетворювачі

$$P_{II} = \frac{P_{a1}V_1}{V_2}. \quad (2)$$

Об'єм повітря у вихідному стані

$$V_1 = S_{II}H_{II}, \quad (3)$$

де S_{II} - площа поперечного перерізу перетворювача;

H_{II} - висота перетворювача.

Змінений об'єм повітря в перетворювачі дорівнює

$$V_2 = S_{II}(H_{II} - H_B), \quad (4)$$

де H_B - висота стовпа пульпи у внутрішній порожнині перетворювача.

Умова рівноваги у первинному перетворювачі полягає у рівності сил, що діють з боку внутрішньої порожнини і зовнішнього середовища – стовпа рідини в приймальному пристрої завиткового живильника і атмосферного тиску.

Сила з боку пульпи і атмосфери характеризується тиском, що створюється в цій системі. Тиск рідини на вході в перетворювач можна визначити залежністю

$$P_p = P_{a2} + \gamma g H_c, \quad (5)$$

де P_{a2} - атмосферний тиск в момент вимірювання;

γ - густина пульпи;

g - прискорення земного тяжіння.

Тиск рідини, що розвиває перетворювач, приведений до його входу, дорівнює

$$P_{p\Pi} = P_{\Pi} + \gamma g H_B. \quad (6)$$

На підставі рівності тисків P_p і $P_{p\Pi}$ можна записати

$$H_B = \frac{P_{a2} - P_{\Pi} + \gamma g H_C}{\gamma}. \quad (7)$$

Підставивши (7) в (4) і перетворивши вираз, отримаємо

$$V_2 = \frac{S_{\Pi}}{\gamma} [\gamma g (H_{\Pi} - H_C) - P_{a2} + P_{\Pi}]. \quad (8)$$

Підставимо значення об'ємів повітря (3) і (8) у вираз (2). При цьому після перетворення отримаємо рівняння

$$P_{\Pi}^2 + [\gamma g (H_{\Pi} - H_C) - P_{a2}] P_{\Pi} - P_{a1} H_{\Pi} \gamma g = 0. \quad (9)$$

Значення тиску у відкритому гідростатичному перетворювачі, визначене з (9), буде дорівнювати

$$P_{\Pi,2} = \frac{-[\gamma g (H_{\Pi} - H_C) - P_{a2}] \pm \sqrt{[\gamma g (H_{\Pi} - H_C) - P_{a2}]^2 + 4 P_{a1} H_{\Pi} \gamma g}}{2}. \quad (10)$$

Рівняння (10) дає два значення тиску у перетворювачі, одне з яких не буде мати сенсу. Розглянемо залежність (10) у вихідному положенні, коли $H_C=0$. Для цього у рівняння (10) підставимо $H_C=0$ і $P_{a1} = P_{a2} = P_a$. Після перетворення воно прийме вигляд

$$P_{\Pi,2} = \frac{1}{2} [(P_a - \gamma g H_{\Pi}) \pm (P_a + \gamma g H_{\Pi})]. \quad (11)$$

З врахуванням знаку “плюс” у виразі (11) отримаємо

$$P_{\Pi1} = \frac{P_a - \gamma g H_{\Pi} + P_a + \gamma g H_{\Pi}}{2} = P_a. \quad (12)$$

Тобто, при $H_C=0$ тиск у перетворювачі дорівнює атмосферному, що відповідає фізичному змісту його роботи.

З врахуванням знаку “мінус” у виразі (11) отримуємо $P_{\Pi2} = -\gamma g H_{\Pi}$, що не відповідає фізичному змісту роботи перетворювача.

Отже, у виразі (10) повинен бути знак “плюс”. З врахуванням цього залежність для тиску у відкритому гідростатичному перетворювачі буде

$$P_{\Pi} = \frac{[P_{a2} - \gamma g (H_{\Pi} - H_C)] + \sqrt{[\gamma g (H_{\Pi} - H_C) - P_{a2}]^2 + 4 P_{a1} H_{\Pi} \gamma g}}{2}. \quad (13)$$

Вираз (13) є статичною математичною моделлю відкритого гідростатичного перетворювача. Тиск у перетворювачі P_{Π} є функцією рівня вимірюваного середовища H_C , однак залежність відрізняється складністю. Крім того, вихідна величина перетворювача визначається рядом фізичних параметрів – атмосферним тиском при його заповненні P_{a1} , атмосферним тиском в момент вимірювання P_{a2} , прискоренням земного тяжіння g , технологічним параметром – густиною пульпи γ та конструктивним параметром – висотою H_{Π} . Вихідний сигнал перетворювача не залежить від площі його поперечного перерізу.

Конструктивні параметри звичайно визначають характеристики перетворювачів. Для інформаційних засобів найбільш важливою характеристикою є чутливість. Якщо прийняти $H_{\Pi}=0$, то формулу (13) можна записати у вигляді

$$P_{II} = P_{a2} + \gamma H_C \quad (14)$$

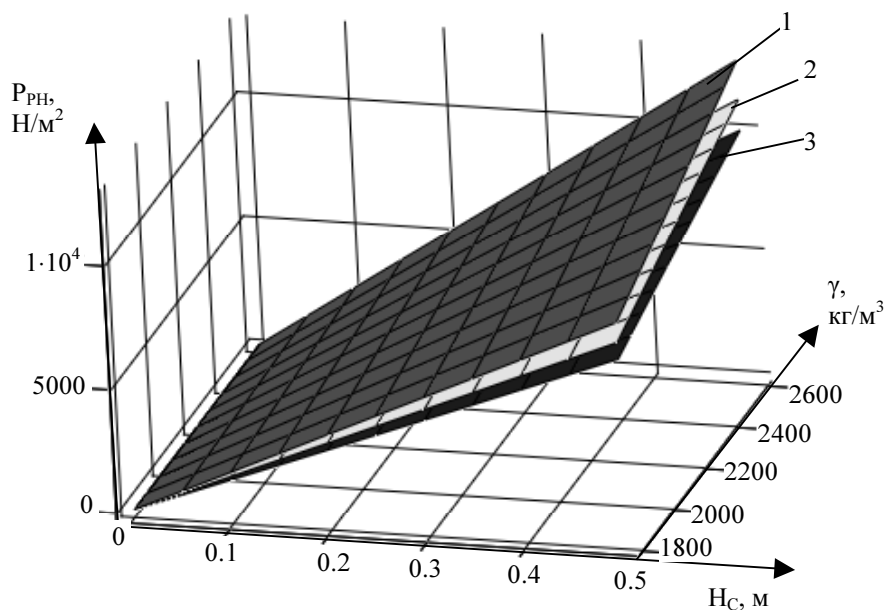
З залежності (14) витікає, що при $H_{II}=0$ чутливість перетворювача буде найбільшою, оскільки отримуємо при певних γ і H_C саме велике значення тиску P_{II} . Тому, з міркувань забезпечення найвищої чутливості, слід було б прийняти висоту перетворювача $H_{II}=0$. Однак при $H_{II}=0$ перетворювач реалізувати не можливо в наслідок забивання імпульсної трубки твердим пульпи. Це вимагає іншого підходу при конструюванні відкритого гідростатичного перетворювача, а саме – вибору найменшого можливого значення висоти H_{II} . При роботі завиткового живильника максимальне значення рівня вимірюваного середовища може скласти $H_{Cmax}=0,5$ м. Тому для надійної роботи достатньо прийняти $H_{II}=0,6$ м.

Як видно з математичної моделі відкритого гідростатичного перетворювача (13), його вихідна величина є функцією двох змінних – рівня і густини вимірюваного середовища, яке не може виходити за межі $1800..2600$ кг/м³. Математична модель передбачає визначення повного тиску в перетворювачі $P_{II} = P_a + \gamma H_C$. Враховуючи, що при ідентифікації співвідношення руда/вода в приймальному пристрої завиткового живильника використовується наднормальний тиск, його можна знаходити по залежності

$$P_{III} = P_{II} - P_{a2} \quad (15)$$

де P_{III} - наднормальний тиск у перетворювачі.

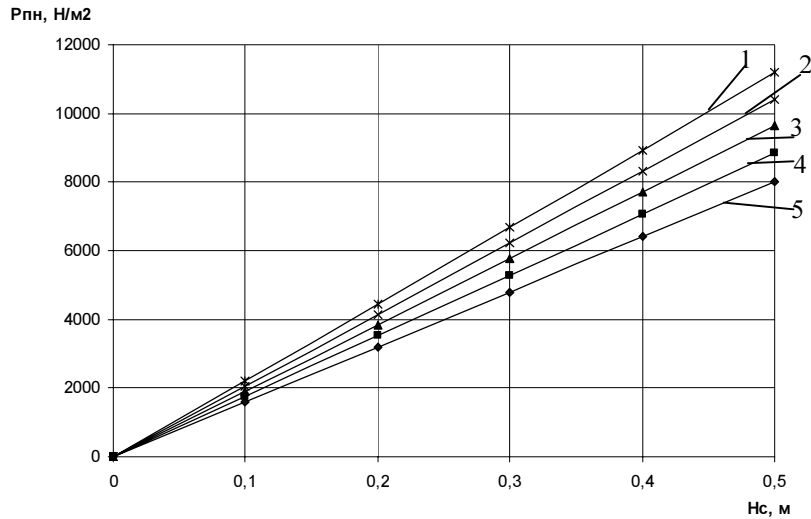
Області зміни значень наднормального тиску перетворювача в умовах завиткового живильника, побудовані за допомогою персонального комп'ютера і програмних засобів MathCad, при різних значеннях висоти патрубка H_{II} показані на рис.2. З рисунка видно, що при збільшенні висоти патрубка H_{II} чутливість перетворювача дещо зменшується, залишаючись достатньо високою в межах прийнятих змін H_{II} .



$$1 - \frac{H_{II}}{H_{Cmax}} = 0; \quad 2 - \frac{H_{II}}{H_{Cmax}} = 0,6; \quad 3 - \frac{H_{II}}{H_{Cmax}} = 1,2$$

Рисунок 2 – Області зміни значень наднормального тиску перетворювача в умовах роботи завиткового живильника

Оскільки вихідний сигнал відкритого гідростатичного перетворювача (13) залежить як від рівня, так і густини пульпи, безпосередньо вимірювати рівень можливо лише при незмінній густині середовища. Залежності наднормального тиску перетворювача від рівня пульпи при різних густинах і $H_{II}=0,6$ м приведені на рис.3. З рис.3 видно, що наднормальний



1 – 2600; 2 – 2400; 3 – 2200; 4 – 2000; 5 – 1800 кг/м³
 Рисунок 3 – Залежність наднормального тиску перетворювача від рівня вимірюваного середовища при різних густинах

тиск перетворювача лінійно змінюється з ростом рівня пульпи при різних її густинах. Чутливість перетворювача збільшується при зростанні густини пульпи.

Розкривши круглі дужки і перегрупувавши члени, залежність (13) можна подати у вигляді

$$P_{\Pi} = \frac{(P_{a2} + \gamma g H_C) - \gamma g H_{\Pi} + \sqrt{[(P_{a2} + \gamma g H_C) - \gamma g H_{\Pi}]^2 + 4P_{a1}H_{\Pi}\gamma g}}{2} \quad (16)$$

Зважаючи, що тиск на вході перетворювача

$$P_{ex} = P_{a2} + \gamma g H_C, \quad (17)$$

вираз (16) можливо подати у вигляді

$$P_{\Pi} = \frac{1}{2} \left[P_{ex} - \gamma g H_{\Pi} + \sqrt{(P_{ex} - \gamma g H_{\Pi})^2 + 4P_{a1}H_{\Pi}\gamma g} \right], \quad (18)$$

де P_{ex} - тиск вимірюваного середовища на вході перетворювача.

Статична математична модель відкритого гідростатичного перетворювача, подана у вигляді (18), показує, що в ньому повний тиск на вході P_{ex} також може розглядатися як вхідна величина. При цьому вихідна величина P_{Π} є функцією двох параметрів – повного вхідного тиску P_{ex} і густини пульпи γ .

Залежність наднормального тиску перетворювача від повного тиску середовища при різних густинах у приймальному пристрої завиткового живильника подано на рис.4. З нього видно, що при певній густині пульпи наднормальний тиск перетворювача $P_{пн}$ лінійно залежить від повного тиску на його вході P_{ex} . При зростанні густини середовища чутливість дещо зменшується. Вплив зміни густини пульпи тут менший, ніж при вимірюванні її рівня.

Таким чином, статична математична модель відкритого гідравлічного перетворювача зв'язує його повний тиск з рівнем або тиском пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника. Однак цей зв'язок супроводжується впливом густини пульпи на отриманий результат. При збільшенні густини пульпи чутливість перетворювача в процесі визначення рівня зростає, а - повного тиску середовища зменшується. Вплив зміни густини пульпи на рівень більший, ніж на повний тиск середовища.

Величина незмінного поперечного перерізу перетворювача на результат визначення технологічного параметра не впливає, а його висота для умов приймального пристрою завиткового живильника може дорівнювати $H_{\Pi}=0,6$ м.

1 – 1800; 2 – 2200; 3 – 2600 кг/м³

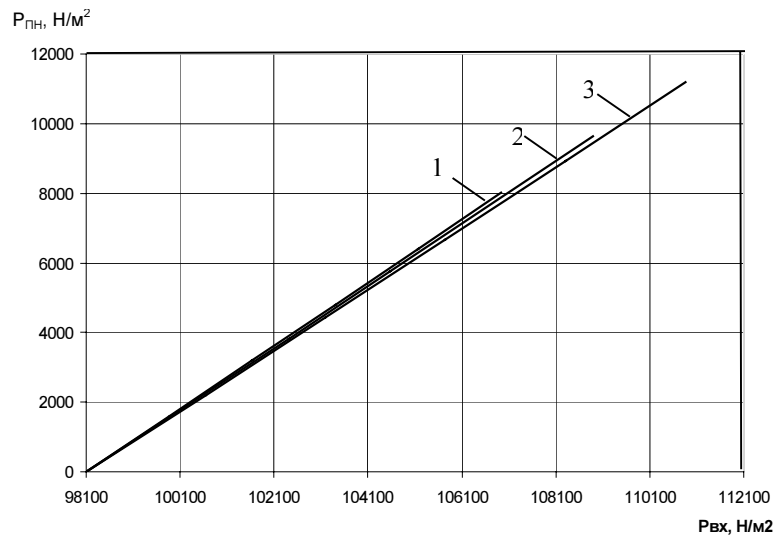


Рисунок 4 – Залежність наднормального тиску перетворювача від повного тиску середовища при різних густинах пульпи

На підставі проведених досліджень створюється можливість розробки рівнеміра пульпи та засобу вимірювання повного тиску у донній частині приймального пристрою завиткового живильника, які необхідні для ідентифікації співвідношення руда/вода у млинах, що подрібнюють піски класифікатора.

Список літератури

1. Бонч-Бруевич А.М., Быков В.Л., Чинаев П.И. Бесконтактные элементы самонастраивающихся систем.- М.: Машиностроение, 1967.- 292с.
2. А.с. 1688920 СССР, МКИ В 02 С 25/00. Способ управления плотностью пульпы в потоках на сливе барабана мельницы /В.И. Дмитриев, Д.А. Клименко, А.Л. Яровицын (СССР); Днепропетровский горный институт им. Артема и Лебединский горно-обогатительный комбинат.- №4728489 /33; Заявлено 14.08.89; Опубл. 07.11.91, Бюл. №41.
3. Автоматизация технологических процессов на горнорудных предприятиях: Справочное пособие /Под ред. В.С. Виноградова.- М.: Недра, 1984.- 167с.
4. А. с. 1326335 СССР, МКИ В 02 С 25/00. Система автоматического регулирования соотношения расходов твердой и жидкой фаз потоков в загрузке мельницы /В.И. Дмитриев, А.П. Савилов, А.А. Саганенко (СССР). – № 3927605/29-33; Заявлено 27.05.85; Опубл. 30.07.87, Бюл. № 28.
5. А. с. 1416179 СССР, МКИ В 02 С 25/00. Способ автоматического регулирования соотношения расходов входных потоков в мельницу /В.И. Дмитриев, А.А. Саганенко, А.П. Савилов (СССР). – № 4139761/31-33; Заявлено 29.10.86; Опубл. 15.08.88, Бюл. № 30.
6. А. с. 388790 СССР, МКИ В 03 б 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; Заявлено 30.03.70; Опубл. 05.07.73, Бюл. № 29.

В статье приведены результаты теоретических исследований открытого гидростатического преобразователя параметров жидких сред. Показано, что выходной сигнал преобразователя зависит как от уровня жидкой среды, так и от её полного давления. На него оказывает влияние плотность жидкости среды при определении и уровня, и давления. Высота преобразователя для условий приёмного устройства улиткового питателя может составлять 0,6 м.

The results of theoretical researches of the opened hydrostatic transformer of parameters of liquid environments are resulted in the article. It is rotined that the output signal of transformer depends both on the level of liquid of environment and from its complete pressure. On him the closeness of liquid of environment has influence at determination of both level and pressure. The height of transformer for the terms of takers-off of snail feeder can make 0,6 m.