

**АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА**

УДК 658.011.56

**В. О. Кондратець<sup>1</sup>**  
**А. М. Мацуй<sup>1</sup>****ДОСЯГНЕННЯ ЧАСТКОВОЇ ІНВАРІАНТНОСТІ  
ВІДКРИТОГО ЗНИЗУ ГІДРОСТАТИЧНОГО  
ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДО ВПЛИВУ  
ЗБУРЮЮЧИХ ФАКТОРІВ**<sup>1</sup>Кіровоградський національний технічний університет

*Викладено результати теоретичних досліджень, спрямованих на зменшення впливу збурюючих факторів на показання відкритого низу гідростатичного перетворювача. Доведено, що можливо повністю виключити залежність показань гідростатичного перетворювача від стану повітря в ньому, зміни атмосферного тиску, температури навколишнього середовища і густини пульпи. Досягнута часткова інваріантність перетворювача до збурюючих факторів забезпечує високу точність ідентифікації рівня і тиску пульпи.*

**Ключові слова:** інваріантність, гідростатичний перетворювач, збурюючі фактори, похибка.

**Вступ**

В Україні з року в рік зростає частка металургійної сировини, отриманої зі збагачених бідних залізних руд. Значний обсяг міцних руд потребує використання у перших стадіях їх подрібнення технологічної схеми, яка включає стрижневий млин, який працює в розімкнутому циклі, двоспіральний класифікатор, який працює у замкнутому циклі з кульовим млином, який несе основне навантаження. Непідтримання розрідження пульпи у кульовому млині спричиняє значні енергетичні і матеріальні перевитрати. Такий стан технологічного процесу не відповідає вимогам законодавства України щодо впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій у промисловості та положенням Державної науково-технічної програми «Ресурсозберігаючі технології нового покоління в гірничо-металургійному комплексі», а також затвердженого напряму «Розробка технологій видобутку та збагачення сировинних матеріалів для металургійного виробництва, в тому числі з використанням відходів виробництва». Конкретніші задачі розв'язуються в межах наукової теми «Система комп'ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора» (0107U005470). Матеріали статті є частиною отриманих наукових результатів в процесі виконання цієї теми. Враховуючи, що у статті розв'язується згадана технічна задача, її тема є актуальною.

Задача автоматизації розрідження пульпи в кульових млинах в процесі подрібнення пісків двоспірального класифікатора залишається нерозв'язаною. Лише недавно запропоновано підхід визначення співвідношення тверде/рідке [1] в таких технологічних умовах, що дозволить розробити систему автоматичного керування цим технологічним параметром. Для здійснення ідентифікації співвідношення тверде/рідке необхідно вимірювати рівень і тиск пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника. Ідентифікувати дані технологічні параметри необхідно одним фізичним перетворювачем. Для цього найбільше підходить відкритий низу гідростатичний перетворювач [2], однак вплив збурюючих факторів не дозволяє безпосередньо використати його для визначення рівня і тиску пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника [3]. Задачі забезпечення інваріантності відкритого низу гідростатичного перетворювача до впливу збурюючих факторів: зміни температури навколишнього середовища, стану повітря в ньому, атмосферного тиску, густини пульпи, — ніхто не розв'язував.

*Метою роботи є досягнення часткової інваріантності відкритого низу гідростатичного перетворювача у складі приймального пристрою завиткового живильника до впливу збурюючих факторів: зміни температури навколишнього середовища, стану повітря в ньому, атмосферного тиску та густини пульпи, — для забезпечення необхідної точності ідентифікації рівня та тиску рідкого продукту.*

## Результати дослідження

Статична математична модель відкритого знизу гідростатичного перетворювача має вигляд [3]

$$P_P = \frac{[P_{A2} - \gamma g (H_P - H_C)] + \sqrt{[\gamma g (H_P - H_C) - P_{A2}]^2 + 4P_{A1}H_P\gamma g}}{2}, \quad (1)$$

де  $P_P$  — тиск повітря в перетворювачі (вихідна величина);  $P_{A1}, P_{A2}$  — відповідно, атмосферний тиск при заповненні перетворювача та вимірюванні;  $H_P, H_C$  — відповідно, висота патрубка перетворювача та рівень пульпи (вхідна величина);  $\gamma$  — густина пульпи;  $g$  — прискорення земного тяжіння.

Тиск на вході перетворювача  $P_{VX} = P_{A2} + \gamma g H_C$ . Якщо врахувати це, то залежність (1) можна перетворити у вираз, де вхідною величиною буде тиск  $P_{VX}$ . Це дозволяє відкритий знизу гідростатичний перетворювач використовувати як для вимірювання рівня пульпи, так і тиску у донній частині резервуарів.

Із залежності (1) випливає, що вихідна величина перетворювача визначається значенням атмосферного тиску при його заповненні під час вимірювання. Стан відкритого знизу гідростатичного перетворювача визначається також температурами при заповненні  $T_1$  під час вимірювання  $T_2$ , що можна врахувати відношенням температур  $T_2/T_1$ , помноженим на  $H_P$  у перших двох членах виразу (1). Розчинення повітря в пульпі або виділення бульбашок з рідкого матеріалу також змінюють стан перетворювача, що можна врахувати аналогічно відношенням зміненого і початкового об'єму газу. Крім того, на тиск повітря в гідростатичному перетворювачі суттєво впливає зміна густини пульпи. Отже, стан повітря в перетворювачі, температура навколишнього середовища, атмосферний тиск, густина пульпи виступають збурюючими факторами. Негативний вплив відмічених факторів проявляється як при визначенні тиску пульпи, так і її рівня. Зміна температури навколишнього середовища може спричинити додаткову похибку вимірювання рівня до 2 %, об'єму повітря в перетворювачі — до 4 %, атмосферного тиску — до 17 %, густини пульпи — до 39 % [3].

Атмосферний тиск, температура навколишнього середовища, повітряні бульбашки змінюють стан відкритого знизу гідростатичного перетворювача тому, що його заповнення відбувається за одних, а визначення рівня та тиску пульпи — за інших значень цих параметрів. Вказані параметри можуть змінюватися в широких межах, оскільки звільнення перетворювача від пульпи відбувається досить рідко — під час проведення планових ремонтних профілактичних робіт. В тривалих часових інтервалах між плановими ремонтними роботами секції збагачувальних фабрик працюють неперервно.

Повністю позбавитись від похибок, які виникають через зміну атмосферного тиску, температури навколишнього середовища, виділення повітряних бульбашок чи розчинення повітря в пульпі, можна скороченням часового інтервалу між заповненням перетворювача вимірюваним середовищем і визначенням рівня чи тиску пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника. Найкращі результати забезпечить самий короткий часовий інтервал, який можна створити оберненою дією — підняттям на встановлену позначку 0,6...0,7 м над рівнем пульпи та подальшим зануренням перетворювача у пульпу в процесі опускання його у початкове положення. Такі операції можна здійснювати за допомогою автономної системи автоматичного керування положенням перетворювачів (рис. 1), яка працює неперервно в циклічному режимі. Відкриті знизу гідростатичні перетворювачі 1, приєднані до перетворювального механізму 2, при включенні приводу 3 піднімаються над рівнем пульпи 4. При цьому гідростатичний перетворювач заповнюється повітрям за певного атмосферного тиску і температури навколишнього середовища, в його порожнині знаходиться номінальний об'єм газу. Враховуючи, що ця процедура відбувається швидко, реле витримки часу у верхньому положенні РВЧВП має забезпечувати малу тривалість, а датчик верхнього положення ДВП не повинен забезпечувати високу точність зупинки перетворювачів.

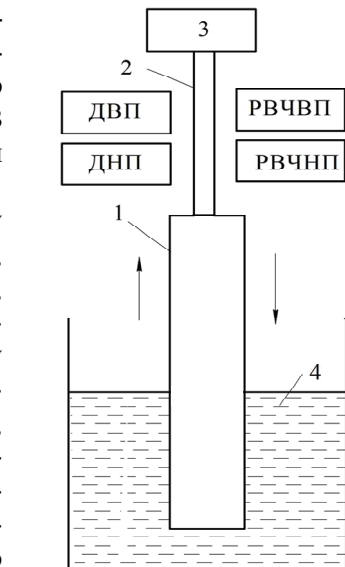


Рис. 1. Функціональна схема автономної системи втоматичного керування положенням відкритих знизу гідростатичних перетворювачів: 1 — відкритий знизу гідростатичний перетворювач; 2 — перетворювальний механізм; 3 — привод; 4 — пульпа; ДВП, ДНП — відповідно, датчики верхнього і нижнього положення; РВЧВП, РВЧНП — відповідно, реле витримки часу у верхньому і нижньому положеннях

Після закінчення витримки часу РВЧВП формується команда на опускання гідростатичних перетворювачів 1. Датчик нижнього положення ДНП повинен забезпечувати високу точність позиціонування перетворювачів у нижньому положенні. Реле витримки часу РВЧНП має забезпечити значну тривалість, що відповідає часу знаходження перетворювачів у робочому режимі.

Часові характеристики виконання цієї операції можуть бути достатньо тривалими з урахуванням особливостей часових змін вищевказаних параметрів і протікання перехідних процесів у циклі подрібнення руди. Їх можна встановити з таких міркувань. Добовий хід атмосферного тиску проявляється слабо, його амплітуда не перевищує кількох десятих гектопаскаля. Такі коливання атмосферного тиску в добовому ході перекриваються та маскуються значно більшими неперіодичними коливаннями [4]. Цyklони та антициклони можуть спричинити різкі та сильні неперіодичні зміни атмосферного тиску до 20...30 гПа за добу [4]. На добовий хід температури повітря впливає безліч факторів. В середньому за рік амплітуда добового ходу температур повітря в помірних широтах складає 8...9 °С, в окремі дні вона може бути набагато більшою. Добовий хід температури повітря залежить від погодних умов. За даними [4] зростання температури складає 15 °С за 12 год. (1,25 °С за год.) у безхмарні дні і 7,5 °С за 12 год. (0,625 °С за год.) у хмарні дні. Близькі дані отримано в іншій місцевості — 10 °С за 8 год. (1,25 °С за год.) [5]. Закономірності добового ходу температури повітря порушуються вторгненням теплих або холодних повітряних мас. Виходячи зі зміни атмосферного тиску і температури в часі та враховуючи теплову інерційність перетворювачів, доцільно встановити періодичність його підняття і опускання, що дорівнює двом годинам.

Стосовно впливу густини пульпи на показання відкритого знизу гідростатичного перетворювача варто відмітити, що досягнення інваріантності до даного параметра вимірюваного середовища є складнішою задачею, оскільки розрідження значно сильніше змінює сигнал чутливого елемента і відрізняється вищою динамічністю. Аналіз показав, що досягти необхідної незалежності показань перетворювача від зміни густини пульпи забезпеченням його найбільшої чутливості до вхідного тиску і вибором висоти патрубку неможливо.

Використаємо два ідентичних за параметрами відкритих знизу гідростатичних перетворювача (рис. 2), один з яких основний (базовий) 1 встановлено у донній частині приймального пристрою завиткового живильника, а інший (додатковий) 2 — зі зміщенням на  $\Delta H$  по вертикалі. Пульпа 4 в приймальному пристрої 3 змінює густину в достатньо широких межах.

Розглянемо ідеальний випадок, коли висота перетворювачів  $H_p = 0$ . За цих умов у випадку вимірювання наднормального тиску перетворювачів отримуємо залежності

$$P_{PN1} = \gamma g H_C \quad (2)$$

$$i \quad P_{PN2} = \gamma g (H_C - \Delta H). \quad (3)$$

Різниця сигналів базового і додаткового перетворювачів, відповідно, (2) і (3) дорівнює:

$$P_{PN1} - P_{PN2} = \gamma g \Delta H. \quad (4)$$

Відношення сигналу базового перетворювача (2) до різниці сигналів перетворювачів (4) складає:

$$\frac{P_{PN1}}{P_{PN1} - P_{PN2}} = \frac{\gamma g H_C}{\gamma g \Delta H} = \frac{H_C}{\Delta H}, \quad (5)$$

звідки

$$H_C = \frac{P_{PN1}}{P_{PN1} - P_{PN2}} \cdot \Delta H. \quad (6)$$

Отже, коли  $H_p = 0$  за співвідношенням (6) можна абсолютно точно визначити рівень пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника. Знайдене значення рівня пульпи не залежить від

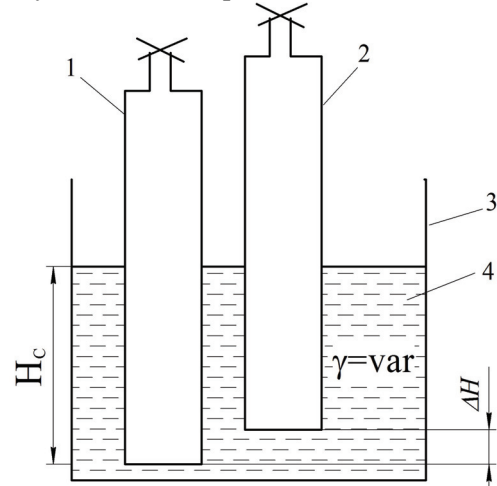


Рис. 2. Два ідентичних за параметрами відкритих знизу гідростатичних перетворювача, встановлених в приймальному пристрої завиткового живильника: 1 — базовий перетворювач; 2 — додатковий перетворювач; 3 — приймальний пристрій завиткового живильника; 4 — пульпа

її густини. Оскільки відкритий знизу гідростатичний перетворювач для  $H_p = 0$  реалізувати неможливо, в ньому досягнутою залишається лише частинна інваріантність до густини пульпи [6].

Зважаючи на те, що точно умову незалежності наднормального тиску гідростатичного перетворювача від густини пульпи реалізувати неможливо, використаємо її наближено, тобто  $\Delta H$  будемо прирівнювати не до нуля, а будемо надавати йому невеликі, близькі до нуля, значення  $\Delta H = 0,01$  м;  $0,02$  м;  $0,03$  м і т. д. Промодельюємо цей процес з використанням залежностей (1) і (6). Найбільше значення рівня пульпи у завитковому живильнику  $H_{C\max} = 0,5$  м. Тоді для забезпечення надійності роботи перетворювачів їх висоту слід брати рівними  $H_p = 0,6$  м. Густина пульпи може набувати значень в діапазоні  $1900 \dots 2400$  кг/м<sup>3</sup>. Результати моделювання наведені в табл. 1 стосовно незмінного значення рівня пульпи  $0,5$  м і граничних значень її густини.

Таблиця 1

Значення відносної похибки вимірювання рівня середовища  $H_C$  за різних зміщень  $\Delta H$  перетворювачів та густин пульпи

Величина зміщення перетворювачів, м	Густина пульпи, кг/м <sup>3</sup>	Наднормальний тиск в гідростатичних перетворювачах, Н/м <sup>2</sup>		Вимірний рівень пульпи, м	Відносна похибка вимірювання рівня пульпи, %
		основному	додатковому		
0,02	1900	8434,13	8094,30	0,4964	0,72
	2400	10416,06	9994,93	0,4947	1,06
0,03	1900	8434,13	7924,46	0,4964	0,71
	2400	10416,06	9784,50	0,4948	1,04
0,04	1900	8434,13	7754,67	0,4965	0,70
	2400	10416,06	9574,15	0,4949	1,02
0,05	1900	8434,13	7584,93	0,4966	0,68
	2400	10416,06	9364,39	0,4952	0,96
0,06	1900	8434,13	7415,23	0,4967	0,67
	2400	10416,06	9153,72	0,4951	0,98
0,07	1900	8434,13	7245,58	0,4967	0,66
	2400	10416,06	8943,64	0,4952	0,96

З даних табл. 1 видно, якщо  $H_p \neq 0$ , то виникає похибка вимірювання рівня пульпи, яка залежить від густини. З ростом густини пульпи похибка збільшується. Величина зміщення перетворювачів  $\Delta H$  практично не впливає на рівень похибки, однак прослідковується тенденція зменшення похибки зі зростанням  $\Delta H$ . Це особливо спостерігається за малих значень густини пульпи. На великих густинах така тенденція зберігається до  $\Delta H = 0,05$  м, після чого похибка залишається практично незмінною. З розглянутого випливає, що величину вертикального зміщення гідростатичних перетворювачів слід брати  $\Delta H = 0,05$  м, де практично найменша похибка вимірювання і відчутна різниця сигналів перетворювачів  $849,2$  та  $1051,7$  Н/м<sup>2</sup>. При цьому відносна похибка вимірювання рівня пульпи з експлуатаційною зміною її густини в основному буде знаходитись в межах  $0,75 \dots 0,8$  %. Цей підхід вимірювання рівня двофазних рідких сумішей захищено патентом [7].

Основний перетворювач фактично вимірює тиск пульпи в нижній точці приймального пристрою завиткового живильника, однак він, як встановлено дослідженнями, вимірюючи безпосередньо тиск, допускає похибку до  $3,67$  %, спричинену входженням середовища в його порожнину і зміною рівня і густини пульпи. У зв'язку з цим безпосереднє використання основного перетворювача для визначення тиску пульпи стає неможливим. Тому розроблявся спеціальний підхід вимірювання тиску пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника.

Вхідною величиною перетворювача тиску слід вважати наднормальний тиск  $P_N = \gamma g H_C$ . Враховуючи, що знак похибки при вимірюванні рівня і тиску пульпи бажано мати той самий, в якості перетворювача тиску необхідно використовувати основний перетворювач рівня пульпи. Його вихідна величина описується рівнянням (1).

Густина пульпи з виразу наднормального тиску дорівнює

$$\gamma = \frac{P_N}{g H_C} \quad (7)$$

Помножимо ліву і праву частини рівняння (7) на  $g H_p$  і отримаємо:

$$\gamma g H_p = P_N \frac{H_p}{H_C} \quad (8)$$

Рівень пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника можна визначати за залежністю

$$H_C = \frac{P_{P1} - P_{A2}}{P_{P1} - P_{P2}} \Delta H. \quad (9)$$

З урахуванням (9) рівняння (8) набуде вигляду:

$$\gamma g H_P = P_N \frac{H_P}{H_C} = \frac{P_N H_P (P_{P1} - P_{P2})}{(P_{P1} - P_{A2}) \Delta H}. \quad (10)$$

Підставимо в (1) значення наднормального тиску  $P_N$ , який діє на вході основного перетворювача, і добутку  $\gamma g H_P$  з (10). В результаті перетворення отримаємо:

$$\begin{aligned} 2P_{P1} - \left[ P_{A2} + P_N - \frac{P_N H_P (P_{P1} - P_{P2})}{(P_{P1} - P_{A2}) \Delta H} \right] &= \\ &= \sqrt{\left[ P_{A2} + P_N - \frac{P_N H_P (P_{P1} - P_{P2})}{(P_{P1} - P_{A2}) \Delta H} \right]^2 + 4P_{A1} \cdot \frac{P_N H_P (P_{P1} - P_{P2})}{(P_{P1} - P_{A2}) \Delta H}}. \end{aligned} \quad (11)$$

Піднесемо ліву і праву частини рівняння (11) до квадрата і після перетворення виразу отримаємо:

$$P_{P1}^2 - P_{P1} \left[ P_{A2} + P_N - \frac{P_N H_P (P_{P1} - P_{P2})}{(P_{P1} - P_{A2}) \Delta H} \right] = \frac{P_{A1} P_N H_P (P_{P1} - P_{P2})}{(P_{P1} - P_{A2}) \Delta H}. \quad (12)$$

Рівняння (12) після перетворення можна подати у вигляді

$$P_N \left[ \frac{H_P (P_{P1} - P_{P2})}{(P_{P1} - P_{A2}) \Delta H} (P_{A1} - P_{P1}) + P_{P1} \right] = P_{P1} (P_{P1} - P_{A2}), \quad (13)$$

звідки наднормальний тиск у донній частині приймального пристрою завиткового живильника буде дорівнювати

$$P_N = \frac{P_{P1} (P_{P1} - P_{A2})}{P_{P1} - \frac{H_P (P_{P1} - P_{P2})}{\Delta H} \frac{(P_{P1} - P_{A1})}{(P_{P1} - P_{A2})}}. \quad (14)$$

Враховуючи, що гідростатичні перетворювачі будуть працювати за однакового атмосферного тиску ( $P_{A1} = P_{A2}$ ) і  $P_{P1} = P_{PN1} + P_{A2}$ ;  $P_{P2} = P_{PN2} + P_{A2}$ , рівняння (14) набуде вигляду:

$$P_N = \frac{P_{PN1} (P_{PN1} + P_{A2})}{P_{PN1} + P_{A2} - \frac{H_P}{\Delta H} (P_{PN1} - P_{PN2})}, \quad (15)$$

де  $P_{PN1}$ ,  $P_{PN2}$  — відповідно, наднормальний тиск в основному і додатковому перетворювачах.

Рівняння (15) дозволяє визначати наднормальний тиск пульпи в донній частині приймального пристрою завиткового живильника за показами основного і додаткового відкритих знизу гідростатичних перетворювачів в умовах зміни густини і рівня пульпи, атмосферного тиску. Залежність (15) має механізм компенсації впливу зміни атмосферного тиску на результат ідентифікації тиску пульпи, оскільки, наприклад, зі зростанням  $P_{A2}$  збільшується як чисельник, так і знаменник рівняння.

Результати комп'ютерного моделювання процесу ідентифікації тиску пульпи в донній частині приймального пристрою завиткового живильника з використанням залежностей (15) і (1) наведені в табл. 2. Встановлено, що залежність наднормального тиску пульпи є лінійною в широкому діапазоні зміни густини і рівня вимірюваного середовища. З даних табл. 2 випливає, що за наднормального атмосферного тиску  $98100 \text{ Н/м}^2$ , який відповідає технічній атмосфері, похибка ідентифікації тиску середовища практично не виникає. Зростання атмосферного тиску до найбільшого значення  $103263 \text{ Н/м}^2$  спричиняє похибку, яка залежить як від рівня пульпи, так і від густини. Вона найбільша за малих рівнів і великих густин вимірюваного середовища і не перевищує  $0,67 \%$ , що цілком допустимо. Більший вплив на точність ідентифікації тиску середовища ви-

кликає зменшення атмосферного тиску. Зі зменшенням атмосферного тиску до найменшого значення 90355 Н/м<sup>2</sup> похибка ідентифікації технологічного параметра зростає. Для мінімальних значень густини пульпи 1900 кг/м<sup>3</sup> вона складає 0,91...0,96 %. За найбільших значень густини пульпи 2400 кг/м<sup>3</sup> відносна похибка ідентифікації тиску збільшується до 1,15...1,22 %. Цей підхід ідентифікації тиску рідких середовищ захищено патентом [8].

Таблиця 2

**Розрахункові значення наднормального тиску в донній частині приймального пристрою завиткового живильника і відносні похибки вимірювання параметра за різних технологічних умов**

Густина пульпи, кг/м <sup>3</sup>	Рівень пульпи, м	Еталонне значення наднормального тиску пульпи, Н/м <sup>2</sup>	Атмосферний тиск, Н/м <sup>2</sup>					
			90355		98100		103263	
			розрахункове значення тиску, Н/м <sup>2</sup>	відносна похибка, %	розрахункове значення тиску, Н/м <sup>2</sup>	відносна похибка, %	розрахункове значення тиску, Н/м <sup>2</sup>	відносна похибка, %
1900	0,1	1863,9	1881,85	0,96	1864,08	0,01	1853,85	0,54
	0,2	3727,8	3763,20	0,95	3728,82	0,03	3708,97	0,50
	0,3	5591,7	5644,05	0,94	5594,15	0,04	5365,25	0,47
	0,4	7455,6	7524,36	0,92	7459,95	0,06	7422,56	0,44
	0,5	9319,5	9404,20	0,91	9326,22	0,07	9280,85	0,42
2400	0,1	2354,4	2383,03	1,22	2354,83	0,02	2338,64	0,67
	0,2	4708,8	4765,43	1,20	4711,23	0,05	4680,01	0,61
	0,3	7063,2	7147,10	1,19	7068,96	0,08	7023,80	0,56
	0,4	9417,6	9528,0	1,17	9427,75	0,11	9369,71	0,51
	0,5	11772,0	11907,26	1,15	11786,82	0,13	11716,79	0,47

### Висновки

Таким чином, запропонованими підходами можна досягнути часткової інваріантності відкритого знизу гідростатичного перетворювача до впливу збурюючих факторів — стану повітря в пристрої, зміни атмосферного тиску, температури навколишнього середовища, густини контрольованої двофазної суміші в процесі ідентифікації рівня та тиску пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника. Ідентифікація рівня та тиску пульпи передбачає використання двох відкритих знизу гідростатичних перетворювачів, зміщених по вертикалі один відносно іншого на 0,05м, у яких визначають наднормальний тиск. Запропоновані залежності для визначення рівня і тиску пульпи за показаннями гідростатичних перетворювачів дозволяють ідентифікувати технологічні параметри з достатньо високою точністю. Відносна похибка вимірювання рівня пульпи за експлуатаційної зміни її густини знаходиться в межах 0,75...0,8 %. На результат визначення тиску пульпи в основному впливає зміна атмосферного тиску. За його мінімального значення і найбільшої густині пульпи відносна похибка може досягати 1,22 %. Враховуючи, що технологічна ситуація з найбільшою густиною пульпи і найменшим атмосферним тиском малоймовірна, відносна похибка визначення тиску пульпи не буде перевищувати одного відсотка. Така задача розв'язана вперше і розкриває перспективу широкого і ефективного використання простих відкритих знизу гідростатичних перетворювачів для технологічних вимірювань середовищ зі змінною густиною і розчинним у ньому повітрі. Такі засоби ефективно можуть працювати, наприклад, з перетворювачами наднормального тиску типу САПФИР-22М-ДИ2120.

Перспективою подальших досліджень є розробка конструкцій відкритих знизу гідростатичних перетворювачів для потреб технологічних процесів, наприклад, подрібнення пісків механічних двоспиральних класифікаторів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кондратець В. О. Ідентифікація співвідношення руда/вода в процесі подрібнення пісків класифікатора / В. О. Кондратець, А. М. Мацуй // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2009. — № 3. — С. 8—12.
2. Кондратець В. О. Теоретичне дослідження відкритого гідростатичного перетворювача параметрів рідких середовищ / В. О. Кондратець, А. М. Мацуй // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць КНТУ. — 2008. — № 21. — С. 49—54.
3. Кондратець В. О. Теоретичне дослідження впливу збурень на показання відкритого знизу гідростатичного перетворювача / В. О. Кондратець, А. М. Мацуй // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2012. — № 6. — С. 21—25.
4. Метеорологія и кліматологія : учебн. пос. / [Таранков В. И., Косарев В. П., Матвеев С. М., Ашеулов Д. И.]. — Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2003. — 171с.

5. Полякова Л. С. Метеорология и климатология : учебн. пос. / Л. С. Полякова, Д. В. Кашарин. — Новочеркасск : НГМА, 2004. — 107 с.

6. Менский Б. М. Принцип инвариантности в автоматическом регулировании и управлении / Б. М. Менский. — М. : Машиностроение, 1972. — 248 с.

7. Пат. 87374 Україна, МПК G 01 F 23/00. Спосіб вимірювання рівня рідких середовищ з хвильовими коливаннями / Кондратець В. О., Мацуй А. М. ; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. — № 200712196; заявл. 05.11.07; опубл. 10.07.09, Бюл. № 13.

8. Пат. 62133 Україна, МПК G 01 L 7/00. Спосіб вимірювання тиску рідких середовищ з хвильовими коливаннями / Кондратець В. О., Мацуй А. М. ; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. — № u201101692 ; заявл. 14.02.11 ; опубл. 10.08.11, Бюл. № 15.

Рекомендована кафедрою метрології та промислової автоматики ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 20.11.2014

**Кондратець Василь Олександрович** — канд. техн. наук, професор, професор кафедри автоматизації виробничих процесів;

**Мацуй Анатолій Миколайович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, e-mail: matsuyan@mail.ru.

Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград

**V. O. Kondratets<sup>1</sup>**  
**A. M. Matsui<sup>1</sup>**

## **Achieving partially invariance of the open at the bottom hydrostatic transducer to disturbing factors**

<sup>1</sup>Kirovograd National Technical University

*The results of theoretical studies aimed at ridding the influence of disturbing factors on the testimony of the open bottom of the hydrostatic transducer are presented in the paper. It is proved that there is a possibility completely to exclude the dependence of indications on the state of hydrostatic converters air in it, changes in atmospheric pressure, ambient temperature and pulp density. The achieved partially invariance of the transducer to disturbing factors provides high identification accuracy level and pressure of the pulp.*

**Keywords:** invariance, hydrostatic transducer, disturbing influences, error.

**Kondratets Vasyl O.** — Cand. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Automation of Productive Processes;

**Matsui Anatolii M.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Automation of Productive Processes, e-mail: matsuyan@mail.ru

**В. А. Кондратец<sup>1</sup>**  
**А. Н. Мацуй<sup>1</sup>**

## **Достижение частичной инвариантности открытого снизу гидростатического преобразователя к влиянию возмущающих факторов**

<sup>1</sup>Кировоградский национальный технический университет

*Изложены результаты теоретических исследований, направленные на исключение влияния возмущающих факторов на показания открытого снизу гидростатического преобразователя. Доказано, что есть возможность полностью исключить зависимость показаний гидростатического преобразователя от состояния в нем воздуха, изменения атмосферного давления, температуры окружающей среды и плотности пульпы. Достигнутая частичная инвариантность преобразователя к возмущающим факторам обеспечивает высокую точность идентификации уровня и давления пульпы.*

**Ключевые слова:** инвариантность, гидростатический преобразователь, возмущающие воздействия, погрешность

**Кондратец Василий Александрович** — канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры автоматизации производственных процессов;

**Мацуй Анатолий Николаевич** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации производственных процессов, e-mail: matsuyan@mail.ru