

## МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЧОВИНИ

---

УДК 681.5.015

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ ПІСКОВОГО ТІЛА ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОМУ СПРАЦЮВАННІ СПІРАЛІ КЛАСИФІКАТОРА

*А.М. Мацуї\*, В. О. Кондратець*

*Кіровоградський національний технічний університет,  
25006, м. Кропивницький, просп. Університетський, 8*

*Метою роботи є дослідження впливу експлуатаційного спрацювання робочих елементів спіралі механічного односпірального класифікатора на втрати точності вимірювання об'єму піскового тіла та відпрацювання напрямів можливого підвищення точності визначення технологічного параметра. Дослідження виконувалися запропонованим методом графоаналітичного моделювання та аналітичного описання процесу. При однаковій висоті пісків у міжвитковому просторі спіралі у випадку спрацювання робочих елементів їх об'єм зменшується. Відносне зменшення об'єму пісків при граничному спрацюванні робочих елементів до 0,04 м складає 30,63...9,95% в діапазоні зміни їх висоти від 0,1585 м до 0,317 м. Запропоновано напрям врахування таких відхилень.*

*Ключові слова: об'єм, вимірювання, точність, висота пісків, спрацювання, врахування відхилень.*

*Целью работы является исследование влияния эксплуатационного износа рабочих элементов спирали механического односпирального классификатора на потери точности измерения объема пескового тела и отработка направлений возможного повышения точности определения технологического параметра. Исследования выполнялись предложенным методом графоаналитического моделирования и аналитического описания процесса. При одинаковой высоте песков в междувитковом пространстве спирали в случае износа рабочих элементов их объем уменьшается. Относительное уменьшение объема песков при граничном износе рабочих элементов до 0,04 м составляет 30,63...9,95% в диапазоне изменения их высоты от 0,1585 м до 0,317 м. Предложено направление учета таких отклонений.*

*Ключевые слова: объем, измерения, точность, высота песков, износ, учет отклонений.*

*The purpose is to study the impact of the operational wear of mechanical spiral working elements single-spiral classifier to loss of precision measuring sand volume of the body and development of areas of possible improve the accuracy of the process variable. Research was carried out by the proposed graph-analytical modeling and analytical description of the process. At the same height of sand in the interturn space spiral in case of wear of their work items volume decreases. The relative decreases in the volume of sand for the boundary wear of working elements to 0.04 meters of 30.63 ... 9.95% in the range of variation of the height of 0.1585 m to 0.317 m. It is suggested taking into account the direction of such deviations.*

*Keywords: volume, measurement, accuracy, the height of sand, wear, accounting deviations.*

**Вступ.** В Україні сировинною основою чорної металургії слугує магнетитовий концентрат, який отримують на магнітозбагачувальних фабриках, де передбачається подрібнення дробленої руди до розкриття магнетитових вкраплень. Внаслідок великих перевитрат електричної енергії, сталевих куль і футеровки у першій стадії подрібнення-класифікації собівартість вітчизняного магнетитового концентрату зростає, що знижує його конкурентоспроможність на світовому ринку. Ефективність підготовки руди може значно покращитись внаслідок розв'язання згаданої проблеми. Тому дана робота спрямовується на реалізацію Галузевої програми енергоефективності та енергозбереження на період до 2017 р., затвердженої наказом Міністра промислової політики України №152 від 25.02.2009 року в частині гірничо-металургійного комплексу та планів наукової тематики Кіровоградського національного технічного університету, зокрема, теми «Моделювання технологічних процесів у механічних спіральних класифікаторах з метою вдосконалення математичних моделей» (0115U003962).

Автоматизація даних процесів є одним з основних напрямів зменшення вказаних перевитрат [1]. Автоматизацією перших стадій подрібнення-класифікації займаються як зарубіжні [2, 3, 4], так і вітчизняні вчені [5, 6], однак не всі задачі розв'язані. На важливість автоматизації перших стадій подрібнення і збагачення звертається увага в даний час в роботі [7]. Особливо це стосується розробки інформаційних засобів. В роботі [1] вказується на необхідність розробки інформаційних засобів, а в [8] відмічається відсутність надійних засобів контролю необхідної точності або значну їх вартість. Важливість автоматичного вимірювання витрати продуктів збагачення підкреслена в [4]. Особливо складним для вимірювання технологічним параметром є витрата пісків механічного односпіального класифікатора. Ця задача нині не розв'язана на задовільному рівні. Зважаючи на те, що дана робота спрямована на розв'язання задачі вимірювання піскового потоку класифікатора, її тема є актуальною.

**Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій.** Перші наближені спроби отримання подібної інформації зводилися до вимірювання циркулюючого навантаження в замкненому циклі подрібнення руди. Розроблено ряд методів

для його визначення – це методи водного і теплового балансів, метод оцінювання параметра за виміряним струмом чи потужністю електродвигуна класифікатора, метод зануреної в потік пісків зірочки, що обертається за допомогою електродвигуна постійного струму, метод зважування піскового жолоба, методи введення контрастної речовини та деякі інші. Дані методи розроблялися вітчизняними і зарубіжними вченими, однак внаслідок різних вад вони не отримали розповсюдження в збагачувальній галузі. Мабуть найбільш ефективними з таких засобів є [9], але він також має недолік – суттєве відставання інформації в часі. З цієї точки зору більш прогресивними можливо рахувати підходи, викладені в [10, 11, 12], що базуються на обчисленні продуктивності за формулами, які містять значну кількість параметрів. Тут продукт оцінюється в межах спіралі класифікатора, але запізнювання створюється внаслідок введення інформації і складних обчислень. Підходи відрізняються громіздкістю. Більш сучасні пристрої, що базуються на використанні показників привода спіралі [13, 14], не володіють запізнюванням, але забезпечують низьку точність, зважаючи на вплив стану постелі класифікатора, спіралі та механічних вузлів.

Для розробки системи оцінювання стану механічного односпіального класифікатора за пісковим навантаженням визначені принципи функціонування і аналізу майбутньої системи даного призначення. Опираючись на попередні дослідження, можливо тверджувати, що для контролю стану класифікатора найбільш доцільно використовувати об'єм пісків між двома сусідніми витками спіралі, але визначати його не розрахунковим шляхом, а безпосереднім вимірюванням.

**Висвітлення невирішених раніше частин проблеми.** При контролі стану механічного односпіального класифікатора об'єм матеріалу (піскового тіла) між двома сусідніми витками можливо знаходити за висотою пісків вздовж вертикалі, що проходить через нижню точку контакту циліндричної постелі з подаючим витком. Запропонований підхід вимірювання об'єму піскового тіла [15] не володіє запізнюванням, не відрізняється громіздкістю і забезпечує необхідну точність, але вплив експлуатаційного спрацювання робочих елементів спіралі на результат отримання інформації ніхто не досліджував, хоч це є достатньо важливим. Таких досліджень не виконувалось і стосовно інших підходів

вимірювання даного технологічного параметра.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є дослідження впливу експлуатаційного спрацювання робочих елементів спіралі механічного односпіралного класифікатора на втрати точності вимірювання об'єму піскового тіла та відпрацювання напрямів коректування отримуваної інформації.

Поставлена мета досягалася використанням запропонованого авторами методом графоаналітичного моделювання та аналітичного описання процесу.

**Основний матеріал дослідження.** В процесі математичного моделювання формування піскового тіла механічного односпіралного класифікатора отримана аналітична залежність об'єму твердого у міжвитковому просторі від його рівня вздовж вертикалі, що проходить через точку контакту постелі і заднього витка у самій нижній точці [16]. Тобто, можливо прямо вимірювати піскову продуктивність механічного односпіралного класифікатора, визначаючи висоту пісків. В процесі роботи механічного односпіралного класифікатора спрацюються робочі елементи спіралі, що приводить до зменшення діаметра її витків. Оскільки циліндрична постіль при цьому також змінює своє положення, зменшуючись в діаметрі, при експлуатаційному спрацюванні робочих елементів спіралі об'єм піскового тіла зменшується, що буде приводити до похибки вимірювання. Тобто, при тій же висоті піскового тіла його об'єм буде меншим.

Перевірку зміни об'єму піскового тіла від експлуатаційного спрацювання робочих елементів спіралі здійснимо на типовому механічному односпіралному класифікаторі ІКСН-30. Його встановлюють під кутом  $\alpha=18^\circ30'$  до горизонту. Двозахідна спіраль класифікатора має початковий радіус  $R_c=1,5$  м, виконана з кроком  $B=1,8$  м, звичайно обертається зі швидкістю 3 об/хв. (0,05 об/с) і обладнана робочими елементами висотою 0,33 м [17]. Експлуатаційне спрацювання спіралі допускають на 0,04 м. Тоді радіус спіралі буде дорівнювати  $R_{cm}=1,46$  м. Піскове тіло буде займати простір між двома витками спіралі і циліндричною поверхнею постелі, створеної з подрібненої руди. При цьому найбільше значення висоти матеріалу у нижній частині піскового тіла є константою для класифікатора і

дорівнює  $h_c = \frac{B}{2} \sin \alpha = 0,2856$  м. Спрацювання робочих елементів спіралі приведе до зменшення висоти піскового тіла на  $0,04 \cdot \cos 18^\circ30' = 0,3793$  м, однак працездатність

класифікатора збережеться зважаючи на те, що у нього існує великий запас піскової продуктивності [18]. В моделі піскового тіла для спрощення фрагменти витків подамо, нехтуючи їх кривизною, у вигляді плоских фігур, перпендикулярних днищу класифікатора і розташованих під кутом  $\gamma = \arctg 4R_c/B = 73^\circ20'$  до осі обертання спіралі.

Дослідження проведемо з залученням запропонованої авторами методики визначення об'єму піскового тіла, коли його розбиваємо горизонтальними площинами на 11 горизонтальних шарів товщиною  $\Delta h = 0,0317$  м і на вертикальні стовпчики довжиною  $\Delta l = 0,05$  м. Вертикальні стовпчики розташовуємо ліворуч і праворуч відносно вертикалі відліку висоти піскового тіла. Об'єм піскового тіла зручно знаходити як суму об'ємів матеріалу у кожному горизонтальному шарі. Об'єм пісків у окремому горизонтальному шарі дорівнює сумі середніх ліній елементарних складових довжиною  $\Delta l$ , помножених на  $\Delta l$  і  $\Delta h$ . При цьому враховують крайові ефекти, оскільки має місце неповне заповнення матеріалом елементарних складових кожного горизонтального шару. Для виконання розрахунків зручно будувати проєкції всіх горизонтальних шарів піскового тіла на горизонтальну площину, продовжуючи графоаналітичне дослідження. Такі побудови базуються на визначених для кожного горизонтального шару довжинах ліній змочування на задньому і передньому фрагментах витка спіралі, довжинах хорд, що відповідають лініям змочування, віддалених ліній змочування від вертикалі відліку висоти піскового тіла. Лінія змочування відбивається на задньому (подавальному) витку спіралі.

При експлуатаційному спрацюванні спіралі вертикаль відліку висоти піскового тіла зміщується праворуч, однак при найбільшому зносі в 0,04 м зміщення складає 0,1269 м або 25,38% від довжини  $\Delta l = 0,05$  м. Оскільки це не може суттєво вплинути на результати моделювання, його можливо не враховувати.

Визначимо параметри ліній змочування заднього (подавального) витка спіралі при спрацюванні робочих елементів на 0,04 м. Це відповідає радіусу спіралі  $R_{cm} = 1,46$  м. Довжина хорди, що відповідає лінії змочування дорівнює

$$X_n = 2\sqrt{R_{cm}^2 - (R_{cm} - n \cdot \Delta h)^2}, \quad (1)$$

де  $n$  – порядковий номер шару матеріалу, починаючи знизу,  $n=1, \dots, 10$ .

Довжину лінії змочування визначаємо за залежністю

$$LZ_n = X_n / \cos(90^\circ - \gamma) = X_n / \cos 16^\circ 40'. \quad (2)$$

Віддалення лінії змочування від вертикалі відліку висоти піскового тіла визначимо за формулою

$$Y = n \cdot \Delta h \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (3)$$

З врахуванням прийнятих і конструктивних значень параметрів залежності (1)-(3) приймуть вигляд

$$X_n = 2\sqrt{2,1316 - (1,46 - 0,0317n)^2}, \text{ м}; \quad (4)$$

$$LZ_n = X_n / 0,9580, \text{ м}; \quad (5)$$

$$Y = 0,0106n, \quad n = 1, \dots, 10, \text{ м}. \quad (6)$$

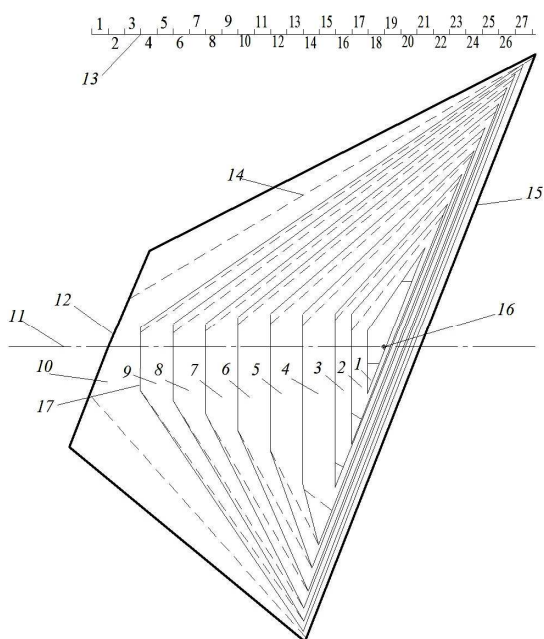
Параметри ліній змочування на задньому (подаючому) витку спіралі класифікатора при спрацюванні її робочих елементів на 0,04 м приведені в табл.1. У десятому шарі матеріалу буде лінія змочування і на передньому витку. Вона відповідає висоті шару 0,0317 м. Довжина хорди тут складає 0,6053 м, а лінії змочування – 0,6318 м. За даними ліній змочування побудовані проекції шарів матеріалу піскового тіла на горизонтальну площину (рис.1). На рис.1 також нанесені бічні лінії 14, які обмежують розмір шару матеріалу на циліндричній

поверхні постелі з розрахунку, що виокремлений розмір відповідає в середньому повній  $\Delta h = 0,0317$  м. З таких же міркувань проведені лінії 17, які обмежують довжину шару матеріалу. На рис.1 також нанесені номери вертикальних стовпчиків піскового тіла, яке у даному випадку включає 27 одиниць. Самий верхній 10-й шар матеріалу вносить свої елементарні складові довжиною  $\Delta l = 0,05$  м і висотою  $\Delta h = 0,0317$  м в усі 27 вертикальних стовпчиків. Перший матеріальний шар 1 вносить елементарні складові лише в три вертикальні стовпчики – 18, 19 і 20. Вимірюючи їх ширину в горизонтальній площині (рис.1), визначаємо об'єм матеріалу в окремих елементарних складових, що дозволяє знаходити об'єм пісків як в окремих шарах, так і в вертикальних стовпчиках і пісковому тілі в цілому.

Відповідно рис.1 визначалися об'єм пісків і їх висота за кількістю шарів матеріалу, що створюють піскове тіло, наприклад 1  $\Delta h$ , 2  $\Delta h$ , 3  $\Delta h$  і т.д. Дані моделювання зведені в табл.2. Аналогічно розглянутому, визначалися ті ж показники для піскового тіла у випадку неспрацьованих робочих елементів спіралі. Об'єми піскового тіла при відповідній їх висоті також заносилися до табл.2.

**Таблиця 1 – Значення параметрів ліній змочування на задньому витку спіралі класифікатора при експлуатаційному спрацюванні робочих елементів на 0,04 м**

Порядковий номер шару матеріалу, який розпочинається знизу піскового тіла $n$	Висота шару матеріалу $n \cdot \Delta h$ , м	Довжина хорди $X$ , м	Довжина лінії змочування $LZ$ , м	Віддалення лінії змочування від вертикалі відліку висоти піскового тіла $Y$ , м
1	0,0317	0,6053	0,6318	0,0106
2	0,0634	0,8511	0,8884	0,0212
3	0,0951	1,0365	1,0820	0,0318
4	0,1268	1,1903	1,2425	0,0424
5	0,1585	1,3232	1,3812	0,0530
6	0,1902	1,4411	1,5043	0,0634
7	0,2219	1,5476	1,6154	0,0743
8	0,2536	1,6446	1,7167	0,0849
9	0,2853	1,7340	1,8100	0,0955
10	0,3170	1,8168	1,8965	0,1060



1-10 – проєкції шарів матеріалу; 11 – проєкція осі обертання спіралі; 12 – проєкція лінії змочування переднього витка; 13 – номери вертикальних стовпчиків з матеріалом; 14 – бічні лінії, що обмежують розмір шару матеріалу, який не заповнено на всю висоту  $\Delta h$ ; 15 – проєкції ліній змочування на задньому витку; 16 – вертикаль відліку висоти піскового тіла; 17 – лінії, що обмежують довжину шару матеріалу, який не заповнено на всю висоту  $\Delta h$

**Рисунок 1 – Проєкції шарів матеріалу піскового тіла на горизонтальну площину при експлуатаційному спрацюванні робочих елементів спіралі на 0,04 м**

**Таблиця 2 – Залежність об'єму піскового тіла від висоти при неспрацьованих і спрацьованих на 0,04 м робочих елементах спіралі**

Номер шару пісків	Висота піскового тіла, виражена в одиницях $\Delta h$	Висота піскового тіла, виражена в метрах	Об'єм піскового тіла, $\text{дм}^3$	
			Робочі елементи спіралі не спрацьовані	Робочі елементи спіралі, спрацьовані на 0,04 м
1	$1\Delta h$	0,0317	0,523	0,444
2	$2\Delta h$	0,0634	2,140	1,950
3	$3\Delta h$	0,0951	6,118	5,976
4	$4\Delta h$	0,1268	12,918	12,696
5	$5\Delta h$	0,1585	31,713	22,0
6	$6\Delta h$	0,1902	44,599	34,852
7	$7\Delta h$	0,2219	60,893	49,817
8	$8\Delta h$	0,2536	81,166	69,154
9	$9\Delta h$	0,2853	105,526	92,564
10	$10\Delta h$	0,3170	137,179	123,534
11	$11\Delta h$	0,3487	177,089	-

З даних табл.2 видно, що при спрацьованих робочих елементах спіралі відсутній 11-й шар матеріалу. При будь-якій висоті піскового тіла його об'єм при неспрацьованих робочих елементах спіралі більший такого ж показника у випадку спрацювання на 0,04 м робочих елементів. У табл.3 наведені відносні відхилення об'єму піскового тіла при спрацьованих до 0,04 м робочих елементах спіралі порівняно з цим показником для неспрацьованих робочих елементів, який взято за еталон. У табл.3 приведені дані для розглянутого діапазону зміни циркулюючих навантажень, які у вираженні висоти складають  $5\Delta h \dots 10\Delta h$ . З даних табл.3 слідує, що відносні відхилення об'єму піскового тіла при спрацюванні робочих елементів спіралі залежать від піскової продуктивності класифікатора, зменшуючись при її зростанні. У випадку граничного спрацювання робочих елементів (0,04 м) відносні зменшення об'єму піскового тіла в розглянутому діапазоні зміни його висоти складають 30,63...9,95%. У вужчому діапазоні зменшуються абсолютні відхилення об'єму.

Приведені результати відхилення об'єму піскового тіла за умов граничного експлуатаційного спрацювання робочих елементів спіралі механічного класифікатора отримані шляхом моделювання запропонованим методом.

**Таблиця 3 – Відносні та абсолютні відхилення об'єму піскового тіла при спрацьованих на 0,04 м робочих елементах спіралі порівняно з цим показником для неспрацьованих робочих елементів**

Висота піскового тіла в одиницях $\Delta h$	$5\Delta h$	$6\Delta h$	$7\Delta h$	$8\Delta h$	$9\Delta h$	$10\Delta h$
Відносне відхилення об'єму, %	30,63	21,86	18,19	14,80	12,28	9,95
Абсолютне відхилення об'єму, $\text{дм}^3$	9,713	9,747	11,076	12,012	12,962	13,645

Проміжні значення відхилень об'єму піскового тіла при експлуатаційному спрацьованні робочих елементів спіралі моделюванням визначити практично не можливо. Тому застосуємо інший підхід. В межах розглянутих відхилень об'єму піскового тіла при фіксованій зміні його висоти введемо заміну

$$\Delta V_{PT} = a \cdot h_{PT} \cdot \Delta h_{er}, \text{ дм}, \quad (7)$$

де  $a$  – коефіцієнт;  $\Delta V_{PT}$  – відхилення об'єму піскового тіла при граничному спрацьованні робочих елементів спіралі;  $h_{PT}$  – висота піскового тіла при незношених робочих елементах;  $\Delta h_{er}$  – величина граничного експлуатаційного спрацьовання робочих елементів спіралі.

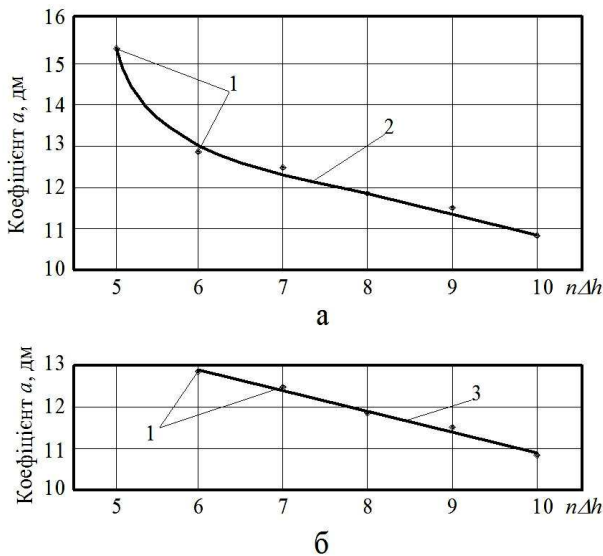
В залежності (7) всі параметри можуть бути відомими за умов граничного спрацьовання робочих елементів спіралі. Тому можливо визначити значення невідомого коефіцієнта  $a$  для будь-якої конкретної ситуації. Величина коефіцієнта  $a$  для різних значень висоти піскового тіла  $h_{PT}$  буде не однаковою, оскільки при кожному  $n\Delta h$  зміна об'єму пісків не залишається постійною. Значення коефіцієнта  $a$  при різних  $n\Delta h$  приведені на рис.2,а у вигляді точок 1. Апроксимуюча крива 2 характеризує зміну коефіцієнта у функції висоти піскового тіла. Видно, що залежність 2 нелінійна, однак нелінійність в основному відноситься до ділянки в межах від  $5\Delta h$  до  $6\Delta h$ . При таких висотах піскового тіла односпіральний класифікатор практично не працює тому, що вони відповідають занадто малим циркулюючим навантаженням, які на практиці не використовуються. Зважаючи на це піскове тіло можливо розглядати в межах зміни його висоти від 6 до  $10\Delta h$ , що відповідає реальним змінам циркулюючого навантаження в замкнутому

циклі подрібнення вихідної руди. Як видно з рис.2,а, в цих межах коефіцієнт  $a$  з ростом висоти піскового тіла класифікатора спадає практично по лінійній залежності. Дані моделювання в цьому діапазоні зміни висоти піскового тіла приведені на рис.2,б. Вони позначені точками 1. Пряма 2 на цьому ж рис.2,б, отримана методом найменших квадратів, має рівняння

$$a = -0,51 \cdot n\Delta h + 15,99, n = 1, \dots, 10. \quad (8)$$

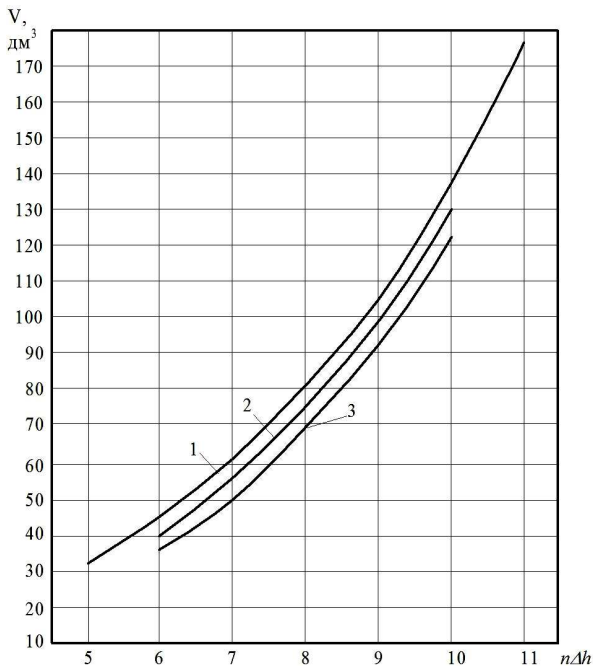
Коефіцієнт  $a$  залежить лише від висоти піскового тіла класифікатора.

Знаючи базову залежність об'єму піскового тіла від його висоти для неспрацьованої спіралі, за залежністю (8) для будь-якого  $h_{PT}$  можливо знайти  $a$ , а за (7) – зменшення об'єму піскового тіла для довільного спрацьовання робочих елементів спіралі  $\Delta h_e$ . На рис. 3 приведені залежності для різних ступенів спрацьовання робочих елементів спіралі класифікатора. Перша залежність 1 побудована за даними моделювання. Залежність 3 відповідає як результатам моделювання при граничному спрацьованні робочих елементів спіралі, так і розрахунковим даним. Крива 2 отримана розрахунково для  $\Delta h_e=0,02$  м. Розглянуте показує, що для будь-якої ступені спрацьовання робочих елементів спіралі класифікатора можливо визначити об'єм піскового тіла, що означає можливість компенсації похибок, які виникають в процесі експлуатації, викликаних цим фактором.



1 – точки, отримані в процесі моделювання;  
 2 – апроксимуюча крива; 3 – апроксимуюча пряма

**Рисунок 2 – Значення коефіцієнта  $a$  у функції висоти піскового тіла в розширеному (а) і звуженому (б) діапазонах зміни аргумента**



1 –  $\Delta h_e = 0$ ; 2 –  $\Delta h_e = 0,02$  м; 3 –  $\Delta h_e = 0,04$  м

**Рисунок 3 – Залежність об'єму піскового тіла від його висоти для різного експлуатаційного спрацювання робочих елементів спіралі класификатора**

## ВИСНОВКИ

Наукова новизна виконаної роботи полягає в тому, що вперше запропоновано визначати піскову продуктивність механічного односпіралного класификатора за об'ємом піскового тіла (кількістю пісків між сусідніми витками спіралі), який вимірюють за його висотою, що підвищує точність в наслідок виключення пульсацій, ліквідує запізнювання та дозволяє активно використовувати цей параметр як показник реагування технологічного агрегату на входні діяння. Крім того, вперше здійснено оцінювання впливу експлуатаційного спрацювання робочих елементів спіралі на втрату точності вимірювання об'єму піскового тіла. Встановлено, що при однаковій висоті пісків у міжвитковому просторі спіралі знаходиться різний їх об'єм при неспрацьованих і спрацьованих робочих елементах. У випадку граничного спрацювання робочих елементів на 0,04 м відносно зменшення об'єму піскового тіла складає 30,63...9,95% в діапазоні зміни висоти матеріалу від 0,1585 м до 0,317 м.

Оскільки втрати точності вимірювання об'єму піскового тіла при експлуатаційному спрацюванні робочих елементів спіралі великі, розроблено підхід визначення цього технологічного параметра за даних ускладнених умов при будь-якій ступені зносу.

Робота має вагомое теоретичне значення, враховуючи те, що, оскільки математичне моделювання даного процесу не можливо виконати відомими способами, розроблявся абсолютно новий підхід. Вагомим теоретичним вкладом є запропонований підхід визначення об'єму піскового тіла за будь-якого експлуатаційного спрацювання робочих елементів спіралі, що не можливо здійснити моделюванням.

Практичне значення роботи полягає в тому, що з врахуванням результатів дослідження надається можливість використовувати більш корисну і точну інформацію при автоматизованому керуванні рудопідготовкою в перших стадіях подрібнення вихідної руди на збагачувальних фабриках.

Проведені дослідження відкривають перспективу розробки підходів корекції показань найбільш ефективних засобів вимірювання піскової продуктивності механічного односпіралного класификатора за висотою піскового тіла в умовах експлуатаційного спрацювання робочих елементів спіралі.

1. Измельчение. Энергетика и технологии // Пивняк Г.Г.; Вайсберг Л.А., Кириченко В.И и др.– М.: Изд.дом «Руда и металлы», 2007.– 296с. 2. Линч А. Дж. Циклы дробления и измельчения / Линч А. Дж.: [пер.с англ].– М.: Недра, 1981.– 342с. 3. Herbst J.A. Model-based control of mineral processing operations/ J.A. Herbst, W.T. Pate, A.E. Oblad // Powder Technology.– 1992.– Vol. 69.– P.21-32.– ISSN 0032-5910. 4. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых / [Морозов В.В., Топчаев В.П., Улитенко К.Я. и др].– М.: Изд.дом «Руда и Металлы», 2013.– 512 с. 5. Марюта А. Н. Автоматическая оптимизация процессов обогащения руд на магнитообогатительных фабриках / Марюта А.Н.– М.: Недра, 1987.– 230с. 6. Моркун В.С. Адаптивные системы оптимального управления технологическими процессами / Моркун В.С., Цокуренько А.А., Луценко И.А.– Кривой Рог: Минерал, 2005.– 261с. 7. Азарян А.А. Автоматизация первой стадии измельчения, классификации и магнитной сепарации – реальный путь повышения эффективности обогащения железных руд / А.А. Азарян, Ю.Ю. Кривенко, В.Г. Кучер // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць.–2014.– Вип 36.– С.276-280. 8. Купін А. І. Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології / Купін А. І. – Кривий Ріг: Видавництво КТУ, 2008.– 204с. 9. А.с. 329905 СССР, МКИ В 03 С 5/00. Способ непрерывного измерения циркулирующей нагрузки / Т.И. Гуленко, В.А. Кондратец (СССР).– №1352391/29-33; заявл. 28.07.69; опубл. 24.02.72, Бюл.№8. 10. А.с. 1269838 СССР, МКИ В 03 В 13/00. Способ определения производительности спирального классификатора по пескам / В.И. Дмитриев (СССР).– №3904014/22-03; заявл. 27.05.85; опубл. 15.11.86, Бюл.№42. 11. А.с. 1530258 СССР, МКИ В 03 В 13/00. Способ определения продуктивности спирального классификатора по пескам / Е.Ф. Морозов (СССР).– №4385577/22-03; заявл. 29.02.88; опубл. 23.12.89, Бюл. №47. 12. А.с. 1659102 СССР, МКИ

В 03 В 13/00. Способ оперативного определения производительности спирального классификатора по пескам / В.И. Дмитриев (СССР).– №4645509/22-03; заявл. 19.12.88; опубл. 30.06.91, Бюл.№24. 13. А.с. 619209 СССР, МКИ В 03 В 13/00. Способ автоматического контроля производительности спиральных классификаторов по пескам / А. Н. Марюта, Е. В. Кочура, В. И. Дмитриев (СССР).– №2344570/22-03; заявл. 17.03.76; опубл. 15.08.78, бюл.№30. 14. Дмитриев В. И. Исследование динамических характеристик спирали классификатора для задач автоматического контроля / В. И. Дмитриев // Зб. наук. праць. Національного гірничого університету.– Дніпропетровськ: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2007.– №28.– С.14-24. 15. Пат. 107479 Україна МПК В 03 В 13/00. Спосіб визначення продуктивності спирального класифікатора по пісках / Кондратець В. О., Мацуї А. М.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет.– №и201511828; заявл. 30.11.15; опубл. 10.06.16, Бюл.№11. 16. Мацуї А.М. Математичне моделювання формування піскового тіла у міжвитковому просторі механічного спирального класифікатора / А. М. Мацуї // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів.– 2015.– Т.7.– Вип.4.– С.9-17. 17. Верхотуров М. В. Гравитационные методы обогащения / Верхотуров М. В.– М.: МАКС Пресс, 2006.– 352с. 18. Разумов К. А. Проектирование обогатительных фабрик / К.А. Разумов, В.А. Перов.– М.: Недра, 1982.– 518с.

Поступила в редакцію 23.11.2016 р.

Рекомендували до друку: докт.техн.наук, проф. Середюк О.Є., докт. техн. наук, проф. Костишин В.С.