

А. М. МАЦУЙ, В. О. КОНДРАТЕЦЬ

МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМУВАННЯ ПІСКОВОГО ПОТОКУ У ПІСКОВОМУ ЖОЛОБІ МЕХАНІЧНОГО ОДНОСПІРАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА

Представлені результати моделювання формування піскового потоку у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора. Встановлено, що в циклі розвантаження пісків за будь-яким параметром формується крива, яка має початкову, кінцеву точки, мінімум і максимум. Введені оцінки в даних точках характеризують рівномірність потоку пульпи. Ці оцінки дорівнюють нулю, якщо рух пульпи рівномірний. Показано, що в реальних умовах вони можуть приймати значення від 5 до 100%, що відповідає значним коливанням висоти потоку і швидкостей переміщення матеріалу. Це унеможливило застосування і підвищення точності вимірювання об'ємної витрати пульпи традиційним підходом. При необхідності підвищення точності вимірювання технологічного параметра слід орієнтуватися на розробку нових підходів.

Ключові слова: односпіральний класифікатор, формування, пісковий потік, об'ємна витрата, точність вимірювання, оцінки.

Представлены результаты моделирования формирования пескового потока в песковом желобе механического односпирального классификатора. Установлено, что в цикле разгрузки песков по произвольному параметру формируется кривая, которая имеет начальную, конечную точки, минимум и максимум. Введенные оценки в данных точках характеризуют равномерность потока пульпы. Эти оценки равны нулю, если движение пульпы равномерное. Показано, что в реальных условиях они могут принимать значения от 5 до 100%, что соответствует значительным колебаниям высоты потока и скоростей перемещения материала. Это делает невозможным применение и повышение точности измерения объемного расхода пульпы традиционным подходом. При необходимости повышения точности измерения технологического параметра следует ориентироваться на разработку новых подходов.

Ключевые слова: односпиральный классификатор, формирование, песковый поток, объемный расход, точность измерения, оценки.

The results of modeling the formation of sand flow in the sand chute of a mechanical single-spiral classifier are presented. It is found that a curve is formed in the cycle of unloading sand by any parameter, which has start and end points, a minimum and a maximum. The estimates introduced at these points describe the slurry flow uniformity. These estimates are equal to zero, if pulp movement is uniform. It is shown that in the real world they can range from 5 to 100%, which corresponds to large fluctuations of flow velocity and height of the moving material. Thus it is impossible to use and improve the accuracy of measuring the volume flow of the pulp by traditional methods. If the accuracy of measuring the process variable is to be increased new approaches are to be developed.

Key words: single-spiral classifier, forming, sand flow, volume flow, the accuracy of the measurement, evaluation.

Вступ. Основною складовою сировини чорної металургії України є магнетитовий концентрат, який отримують збагаченням бідних залізних руд. Подрібнення вихідної руди в основному здійснюють у кульових млинах, які працюють у замкненому циклі з механічним односпіральним класифікатором. У наслідок значних перевитрат електричної енергії, сталевих куль і футеровки вітчизняний магнетитовий концентрат відрізняється підвищеною собівартістю порівняно з зарубіжними аналогами, що ставить його та продукцію з нього у нерівні умови на світовому ринку. Автоматизація даних процесів є одним з основних напрямів зменшення вказаних перевитрат [1], що неможливо без автоматичного контролю піскового потоку у пісковому жолобі класифікатора. Відсутність ефективних засобів автоматичного контролю піскового потоку стримує автоматизацію процесу подрібнення вихідної руди. Зважаючи на те, що дана робота спрямована на розв'язання задачі контролю піскового потоку класифікатора, її тема є актуальною.

Аналіз останніх досліджень. На важливість автоматизації перших стадій подрібнення і збагачення звертається увага в роботі [2]. В роботі [1] вказується на необхідність розробки інформаційних засобів, а в [3] відзначається відсутність надійних засобів контролю необхідної точності або значну їх вартість. Важливість автоматичного вимірювання витрати продуктів збагачення підкреслена в [4]. Проблема отримання необхідної точності привела до застосування алгоритмічних методів визначення значень технологічних параметрів у збагачувальній галузі [5, 6, 7]. Однак все більш зростаючі вимоги технологічного процесу до засобів автоматизації примушують підвищувати точність інформаційних пристроїв. У такій ситуації, зокрема, знаходяться засоби вимірювання об'ємної витрати пульпи у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора. Раніше запропоновані способи визначення піскової продуктивності механічних спіральних класифікаторів [8, 9, 10] в наслідок ряду притаманних вад не отримали розповсюдження у збагачувальній галузі. Перша пропозиція прямого вимірювання об'ємної витрати пульпи у пісковому жолобі розкрита в [11], в [12] розроблені теоретичні положення даного методу, які поглиблені в [13]. Математичним моделюванням рівномірного руху пульпи у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора [14] встановлено, що об'ємну витрату пульпи можливо достатньо точно визначати за висотою матеріального потоку. У роботі [15] встановлені умови формування потоку пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора, однак сам змінний потік піскового продукту ніхто не досліджував і не оцінював його вплив на точність вимірювання об'ємної витрати.

Постановка задачі. Метою даної роботи є моделювання формування піскового потоку у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора з оцінкою точності вимірювання об'ємної витрати пульпи.

Специфічні особливості формування потоку. Рівномірний рух пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора характеризується функціональною залежністю об'ємної витрати пульпи від її висоти [14]. При цьому з ростом висоти потоку середня швидкість руху пульпи збільшується, однак функціональна залежність між витратою і висотою зберігається. Це дозволяє визначати об'ємну витрату пульпи у пісковому жолобі за висотою шляхом використання скануючих пристроїв [12, 13]. Математичним моделюванням формування піскового тіла у міжвитковому просторі механічного односпірального класифікатора встановлено, що при розвантаженні тверде у пісковий жолоб подається нерівномірно [16]. В залежності від величини циркулюючого навантаження середня об'ємна витрата пісків буде різною. Сам же характер сходження змінюватись не буде. Для дові-



Рис. 1 – Розподіл об'єму твердого в елементарних стовпчиках довжиною Δl , розташованих вздовж піскових тіл: 1, 2 – відповідно перше і друге піскове тіло; a, b, m, c – характерні точки.

льного значення циркулюючого навантаження розподіл об'єму твердого вздовж елементарних стовпчиків довжиною $\Delta l = 0,05$ м піскового тіла у двох циклах сходження, що рядом розташовані, приведено на рис. 1. Дані відповідають односпіральному класифікатору 1КСН-30.

З рис. 1 видно, що при незмінному значенні циркулюючого навантаження графіки, що характеризують піскові тіла, які слідуєть одне за одним, однакові. Врахувавши час сходження через пісковий поріг у пісковий жолоб одного елементарного стовпчика довжиною $\Delta l = 0,05$, можливо перейти до об'ємної витрати пісків у пісковому жолобі. При обертах спіралі 3 об/хв. (0,05 об/с) цей час складає $\Delta t = 0,5555$ с. Враховуючи залежності, доведені в [15], можливо отримувати зміни висоти потоку пульпи та швидкості її переміщення у пісковому жолобі, приймаючи рух рівномірним.

Характерні точки a, b, m і c (рис. 1) визначають особливості потоку. Точка a відповідає початку циклу розвантаження, b – найменшому значенню в циклі, m – найбільшому, а точка c – кінцю циклу. Охарактеризувати цикл розвантаження пісків можливо відносними відхиленнями параметра в певних точках відносно максимального значення в точці m. Тоді можливо записати

$$\delta_{Vma} = [(V_m - V_a) / V_m] \cdot 100\% ; \tag{1}$$

$$\delta_{Vmb} = [(V_m - V_b) / V_m] \cdot 100\% ; \tag{2}$$

$$\delta_{Vmc} = [(V_m - V_c) / V_m] \cdot 100\% ; \tag{3}$$

$$\delta_{Vac} = [(V_a - V_c) / V_a] \cdot 100\% , \tag{4}$$

де V_m, V_a, V_b, V_c – відповідно об'єми пісків, що відповідають конкретним точкам.

Приведені залежності (1) – (4) однотипні, але вони по-різному характеризують процес розвантаження пісків. Мабуть, однією з найбільш важливих оцінок є δ_{Vmb} , яка відповідає найбільшому відхиленню параметра. При цьому найбільш складно вирівняти поверхню матеріального потоку. Оцінки δ_{Vma} і δ_{Vmc} є проміжними. Вони характеризують стан потоку на початковій і кінцевій фазах розвантаження пісків і також впливають на рівномірність поверхні рухомого матеріалу. Оцінка δ_{Vac} визначає умови формування рухомої поверхні на стик

двох сусідніх циклів розвантаження пісків (рис. 1, криві 1 і 2). Кожна з розглянутих оцінок має певний фізичний зміст. Якщо $V_m = V_a = V_b = V_c$, то всі оцінки дорівнюють нулю, що відповідає рівномірному руху потоку пульпи. За цих умов точність вимірювання об'ємної витрати пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора буде найвищою. Якщо оцінки будуть відмінними від нуля, це означає появу нерівномірності руху пульпи у пісковому жолобі і зменшення точності вимірювання. Суттєві значення даних оцінок підтверджують нерівномірність руху рідкого матеріалу, зміну епюри швидкостей на окремих ділянках потоку і, як наслідок, виникнення значних похибок при вимірюванні об'ємної витрати пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора.

Зважаючи на те, що при розвантаженні пісків механічного односпірального класифікатора вода, що подається у пісковий жолоб, ефективно проходить у пісковий продукт при співударянні пісків і дна піскового жолоба, тверде не розшаровується ні за крупністю, ні за концентрацією частинок. В процесі руху в наслідок турбулентності частинки твердого знаходяться в положенні рівномірного розташування у зваженому стані [15]. Піски спірального класифікатора несуть з собою 12% води [17]. Подача додаткової води у пісковий жолоб для досягнення незмінної розрідженості пісків не змінює закономірностей розташування матеріалу, зображених на рис. 1. Враховуючи це, можливо в процесі моделювання розглядати лише пісковий продукт, викликаючи операцію його розрідження. При цьому вважається, що піски володіють текучістю, яка притаманна пульпам.

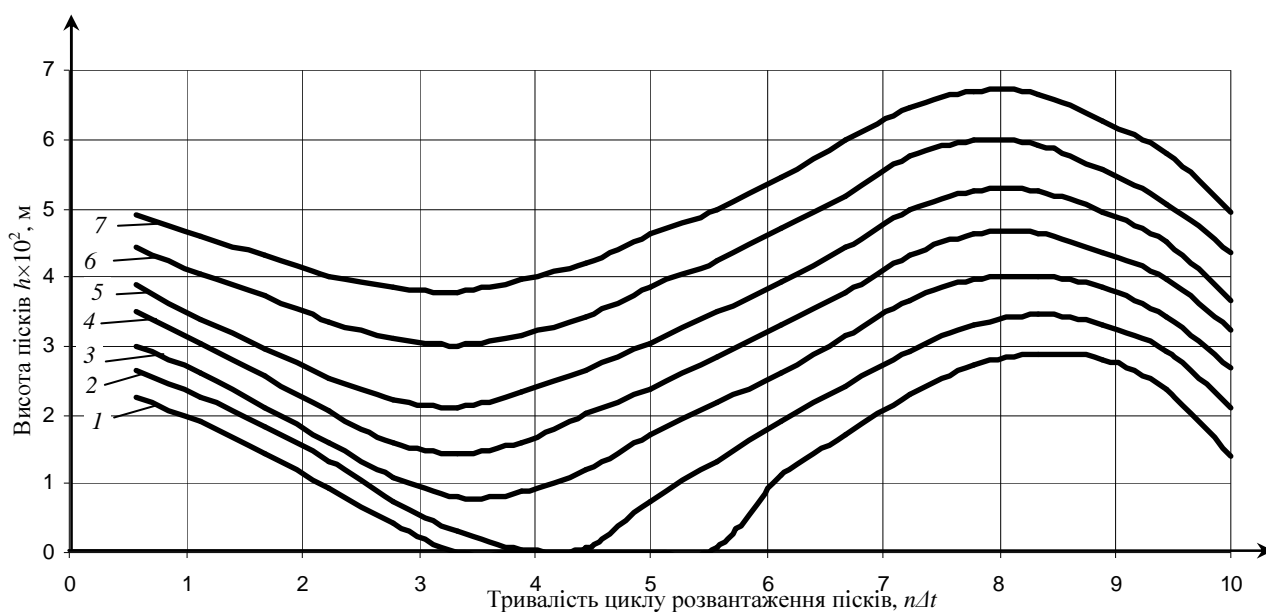


Рис. 2 – Миттєві значення висоти потоку в циклі розвантаження пісків при різних висоті піскового тіла:

1 – $5\Delta h$; 2 – $6\Delta h$; 3 – $7\Delta h$; 4 – $8\Delta h$; 5 – $9\Delta h$; 6 – $10\Delta h$; 7 – $11\Delta h$.

Цикли формування потоку. Моделювання формування піскового потоку у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора виконувалося для умов технологічного агрегату 1КСН-30, який має двозахідну спіраль діаметром 3 м і кроком 1,8 м. Піскове тіло – це піски, розташовані між двома сусідніми витками. Воно вздовж осі поділялось на елементарні складові $\Delta l = 0,05$ м, а вздовж вертикалі – на складові $\Delta h = 0,0318$ м. Вертикальні складові Δh створювали 11 горизонтальних шарів, що охоплюють всю висоту піскового тіла. При висоті піскового тіла $4\Delta h$ його об'єм незначний і не відповідає реальним циркулюючим навантаженням. Тому висота піскового тіла розглядалась в межах $5\Delta h \dots 11\Delta h$. Крім того, піскове тіло подавалось вертикальними стовпчиками довжиною Δl , які мали різну ширину як в окремому шарі матеріалу, так і в різних шарах вздовж вертикалі. Окремий вертикальний стовпчик вздовж осі піскового тіла має за різних значень висоти, виражених у Δh , певний об'єм пісків, який і визначався в процесі моделювання. При обертанні спіралі, як звичайно це прийнято 3 об/хв (0,05 об/с), за час $\Delta t = 0,5555$ с сходять через пісковий поріг класифікатора у пісковий жолоб один вертикальний стовпчик з певним об'ємом твердого, формуючи пісковий потік. Зійшовший об'єм твердого ΔV за час Δt дозволяє визначати миттєві значення об'ємної витрати пісків у пісковому жолобі класифікатора, однак вона не дозволяє достатньо глибоко аналізувати процес формування потоку пульпи. Тому визначалися показники, що володіють більшою інформативністю – миттєві значення висоти потоку h і швидкості руху пісків. Миттєві значення висоти потоку в циклі розвантаження пісків при різних значеннях висоти піскового тіла приведені на рис. 2. З рис. 2 видно, що значення параметра в характерних точках a, b, m, c (рис. 1) різні. Це підтверджує,

що потік пісків буде нерівномірним, нерівномірність зростає при зменшенні висоти піскового тіла.

Миттєві значення швидкості руху пісків у пісковому жолобі в циклі розвантаження при різних висотах піскового тіла показані у вигляді графіків на рис. 3. Графіки зміни швидкості мають той же характер. Абсолютне значення миттєвих швидкостей зростає при збільшенні висоти піскового тіла. Вони мають ті ж характерні точки.

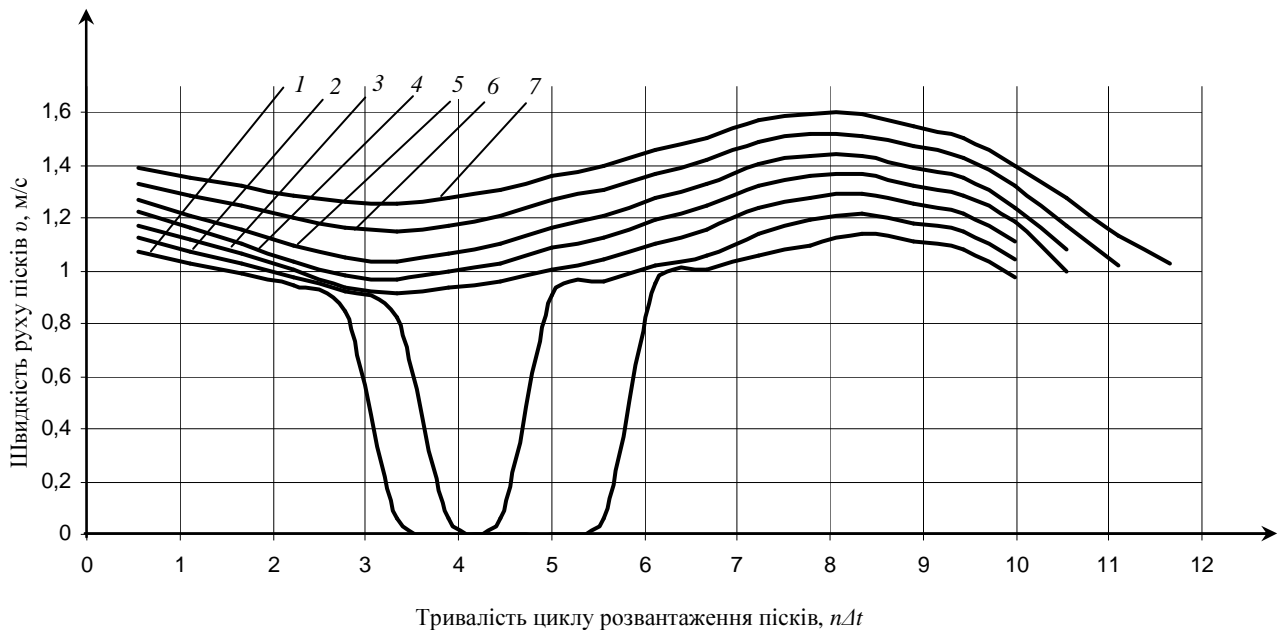


Рис. 3 – Миттєві значення швидкості руху матеріалу в циклі розвантаження пісків при різній висоті піскового тіла: 1 – $5\Delta h$; 2 – $6\Delta h$; 3 – $7\Delta h$; 4 – $8\Delta h$; 5 – $9\Delta h$; 6 – $10\Delta h$; 7 – $11\Delta h$.

Висота пісків h у пісковому жолобі сама не повністю характеризує формування матеріального потоку. Враховуючи, що при певній незмінній ширині піскового жолоба висота пісків h характеризує поперечний переріз потоку, добуток h на швидкість руху відповідає об’ємній витраті матеріалу. Тому доцільно розглянути поведінку пісків у пісковому жолобі, одночасно розглядаючи і висоту, і їх швидкість при певних $n\Delta h$. Аналізуючи, наприклад, залежності 4 на рис. 2 і рис. 3, можливо відмітити, що дія швидкості спричинює вирівнювання поверхні потоку, оскільки при найбільшій висоті пісків їм притаманна сама висока швидкість. Тобто, завдяки більшій швидкості накопичений матеріал за рахунок висоти у поперечному перерізі потоку зміщується на його ділянку з меншою висотою і швидкістю. Найгірші умови вирівнювання поверхні потоку будуть у зоні з найменшим значенням параметра. Такі процеси відбуваються і на стику циклів розвантаження пісків, оскільки значення рівня і швидкості в кінці циклу менші цих значень на його початку. Зрозуміло, що повного вирівнювання поверхні потоку тут не відбувається. Тому необхідно використовувати оцінки (1) – (4). Вони всі характеризують процес формування піскового потоку у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора, однак найбільш важливими слід визнати оцінки δ_{mb} і δ_{ac} .

Таблиця 1 – Оцінки, що характеризують висоту матеріалу у пісковому жолобі односпірального класифікатора в циклі розвантаження пісків

Висота піскового тіла класифікатора, виражена в умовних одиницях Δh	Відносне відхилення висоти матеріалу у пісковому жолобі в характерних точках циклу розвантаження пісків, %			
	δ_{hma}	δ_{hmb}	δ_{hmc}	δ_{hac}
$5\Delta h$	18,760	100,0	51,288	40,039
$6\Delta h$	20,900	100,0	40,043	24,201
$7\Delta h$	22,395	88,979	34,469	15,558
$8\Delta h$	24,021	72,303	65,003	53,939
$9\Delta h$	25,037	61,652	54,389	39,155
$10\Delta h$	26,123	50,253	68,857	57,845
$11\Delta h$	26,806	43,484	70,629	59,872

Тут використані розглянуті оцінки (1) – (4), але приведені відносно висоти h матеріалу у пісковому жолобі.

Аналіз отриманих результатів. Відповідно даним моделювання, які характеризуються залежностями, приведеними на рис. 2 і рис. 3, визначимо оцінки, що відповідають циклам розвантаження піскових тіл при різних їх висоті, вираженій у одиницях Δh . Значення оцінок стосовно висоти пісків у пісковому тілі класифікатора занесемо до табл. 1.

З даних табл. 1 слідує, що оцінка δ_{hma} нелінійно зростає, а δ_{hmb} нелінійно зменшується при збільшенні висоти піскового тіла. Оцінки δ_{hmc} і δ_{hac} спочатку зменшуються, а потім зростають. Значення оцінок високі. Особливо це стосується основної оцінки δ_{hmb} , де вона змінюється від 100 до 43,5%. Достатньо високі значення і другої основної оцінки δ_{hac} , які змінюються в межах 15,6... 59,9%. Оцінка δ_{hmc} також приймає високі значення від 34,5% до 70,6%. Дещо менші значення 18,76... 26,81 має δ_{hma} . При середніх значеннях циркулюючих навантажень оцінки також високі. Основна оцінка δ_{hma} тут змінюється в межах 61,6... 89,0%, а друга основна оцінка приймає значення 15,6... 53,9%. Оцінка δ_{hmc} змінюється у більш широких межах 34,5... 65,0%, а δ_{hma} – у більш вузьких, але суттєвих межах – від 22,4% до 25,0%. Як видно, всі оцінки мають достатньо високі значення.

Значення оцінок, що стосуються швидкості руху матеріалу у пісковому жолобі класифікатора у характерних точках в циклі розвантаження пісків, приведені в табл. 2. Це будуть оцінки δ_{vma} , δ_{vmb} , δ_{vmc} , δ_{vac} .

Як видно з даних табл. 2, характер зміни оцінок практично однаковий з розглянутими раніше, однак як діапазон, так і величини цих оцінок менші. Вони суттєві за величиною. Основна оцінка δ_{vmb} висока, змінюється в межах 27,8... 29,3%. Основна оцінка особливо погіршується при зменшенні висоти піскового тіла (циркулюючих навантажень).

Таблиця 2 – Оцінки, що характеризують швидкість руху матеріалу у пісковому жолобі односпірального класифікатора в циклі розвантаження пісків

Висота піскового тіла класифікатора, виражена в умовних одиницях Δh	Відносне відхилення швидкості руху матеріалу у пісковому жолобі у характерних точках циклу розвантаження пісків, %			
	δ_{vma}	δ_{vmb}	δ_{vmc}	δ_{vac}
$5\Delta h$	5,783	100,0	14,449	9,198
$6\Delta h$	7,595	100,0	14,135	7,078
$7\Delta h$	9,027	29,230	13,802	5,249
$8\Delta h$	10,389	29,320	27,038	18,579
$9\Delta h$	11,330	27,836	24,796	15,187
$10\Delta h$	12,246	24,300	32,924	23,564
$11\Delta h$	12,779	21,536	35,488	26,036

Порівнюючи отримані дані, можливо відмітити, що як за рівнем матеріалу, так і за швидкістю його руху відхилення параметрів великі. Це вказує на суттєві коливання рівня і епюри швидкостей переміщення матеріалу на окремих ділянках потоку, що свідчить про несприятливі умови оцінювання об'ємної витрати пульпи в пісковому жолобі односпірального класифікатора за її висотою. У технологічних умовах, що потребують підвищення точності вимірювання цього параметра, необхідно відшукувати нові підходи його визначення.

Висновки. Моделюванням формування піскового потоку у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора встановлено, що в циклі розвантаження пісків за будь-яким параметром формується крива, яка має початкову, кінцеву точки, мінімум і максимум. Введені оцінки процесу в даних точках характеризують рівномірність потоку пульпи у пісковому жолобі. При рівномірному русі пульпи ці оцінки дорівнюють нулю. З ростом нерівномірності потоку вони збільшуються. Визначалися оцінки відносно миттєвих значень висоти пісків і швидкості їх переміщення. В реальних умовах ці оцінки значні і можуть приймати значення від 5 до 100%. Це доводить великі коливання висоти потоку і швидкості переміщення матеріалу, що унеможливує застосування і підвищення точності пристроїв оцінювання об'ємної витрати пульпи за висотою потоку. У технологічних умовах, де вимагається підвищення точності вимірювання об'ємної витрати пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора, слід орієнтуватися на розробку нових підходів вимірювання даного параметра.

Перспективою подальших досліджень є розробка нових, більш ефективних підходів вимірювання об'ємної витрати пульпи у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора.

Список літератури

1. Пивняк Г. Г., Вайсберг Л. А., Кириченко В. И. и др. Измельчение. Энергетика и технологии. – М. : Изд. дом «Руда и Металлы», 2007. – 296 с.

2. Азарян А. А., Кириченко Ю. Ю., Кучер В. Г. Автоматизация первой стадии измельчения, классификации и магнитной сепарации – реальный путь повышения эффективности обогащения железных руд // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – 2014. – Вип. 36. – С. 276 – 280.
3. Купін А. І. Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології. – Кривий Ріг : Видавництво КТУ, 2008. – 204 с.
4. Морозов В. В., Топчаев В. П., Улитенко К. Я. и др. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых. – М. : Издательский дом «Руда и Металлы», 2013. – 512 с.
5. Кондратець В. О., Сербул О. М. Ідентифікація співвідношення руда/вода на вході кульового млина // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць КНТУ. – 2006. – Вип. 17. – С. 265 – 272.
6. Кондратець В. О., Мацуї А. М. Ідентифікація співвідношення руда/вода в процесі подрібнення пісків класифікатора // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – №3. – С. 8 – 12.
7. Кондратець В. О. Ідентифікація розрідження пульпи у млині, що подрібнює піски класифікатора з додатковою рудою // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2014. – № 3 (50). – С. 305 – 310.
8. 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.
9. А.с. 1530258 СССР, МКИ В 03 В 13/00. Способ определения производительности спирального классификатора по пескам / Е. Ф. Морозов (СССР). – № 4385577/22–03; заявл. 29.02.88; опубл. 23.12.89, Бюл. №47.
10. А.с. 1659102 СССР, МКИ В 03 В 13/00. Способ оперативного определения производительности спирального классификатора по пескам / В. И. Дмитриев (СССР). – № 4645509/03; заявл. 19.12.88; опубл. 30.06.91, Бюл. № 24.
11. А.с. 570398 СССР, МКИ В 03 В 13/04. Устройство для измерения циркулирующей загрузки / Ф. Н. Дегтярев, А. А. Мерзляков, В. А. Кондратец, Л. П. Байда, Н. В. Гончаров (СССР). – № 1676560/03; заявл. 28.06.71; опубл. 30.08.77, Бюл. № 32.
12. Кондратець В. О. Теоретичне дослідження сканування поверхні відкритих матеріальних потоків променями незмінної довжини // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 35. – С. 174 – 178.
13. Кондратець В. О., Мацуї А. М. Теоретичне дослідження активного і пасивного сканування поверхні відкритих матеріальних потоків // Гірничий вісник : наук.-техн. зб. ДВНЗ «КНУ». – 2015. – Вип. 100. – С. 52 – 57.
14. Кондратець В. О., Мацуї А. М. Математичне моделування рівномірного руху пульпи у пісковому жолобі односпіального класифікатора // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – 2016. – Вип. 41. – С. 6 – 12.
15. Кондратець В. О., Мацуї А. М. Дослідження умов формування потоку пульпи у пісковому жолобі односпіального класифікатора // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія : Математичне моделування в техніці та технологіях. – 2016. – № 6 (1178). – С. 24 – 30.
16. Мацуї А. М. Математичне моделування формування піскового тіла у міжвитковому просторі механічного спірального класифікатора // Автоматизация технологических и бизнес процессов. – 2015. – Том 7. – Вип. 4. – С. 9 – 17.
17. Кондратец В. А. Исследование влагосодержания песков двухспиральных механических классификаторов в промышленных условиях // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – 2014. – Вип. 36. – С. 168 – 172.

References (transliterated)

1. Puvnyak G. G., Vaisberg L. A., Kirichenko V. I. et al. *Izmel'chenie, Energetika i tekhnologiya* [Grinding. Energy and technology]. Moscow, Izdatel'skiy dom "Ruda i Metally" Publ., 2007. 296 p.
2. Azaryan A. A., Kirichenko Yu. Yu., Kucher V. G. Avtomatizatsiya pervoy stadii izmel'cheniya, klassifikatsii i magnitnoy separatsii – real'nyy put' povysheniya effektivnosti obogashcheniya zheleznykh rud [Automation of the first grinding step, classification and magnetic separation - the real way to improve the efficiency of iron ore enrichment]. *Visnyk Kryvoriz'kogo natsional'nogo universytetu* [Bulletin of the Kryvyi Rih National University]. Kryvyi Rih, 2014, no. 36, pp. 276–280.
3. Kupin A. I. *Intelektual'na identyfikaciya ta keruvannya v umovakh protsesiv zbagachuval'noyi tekhnologii* [The intelligent identification and the management in terms of enrichment technology processes]. Kryvyi Rih, Vydavnytstvo KTU Publ., 2008. 204 p.
4. Morozov V. V., Topchaev V. P., Ulitenko K. Ya. et al. *Razrabotka i primenenie avtomatizirovannykh sistem upravleniya protsessami obogashcheniya poleznykh iskopayemykh* [Development and application of the automated control systems of mineral processing]. Moscow, Izdatel'skii dom "Ruda i Metally" Publ., 2013. 512 p.
5. Kondratec' V. O., Serbul O. M. Identifikatsiya spivvidnoshennya ruda/voda na vkhodi kul'ovogo mlyna [Identification of ore / water ratio at the feed-in of ball mill]. *Tekhnika v sil'skogospodars'komu vyrobnytstvi, galuzeve mashynobuduvannya, avtomatyzatsiya: zb. nauk. prac' KNTU* [Equipment for agriculture, mechanical engineering branch, automation: digest of scientific papers of the KNTU]. Kirovograd, 2006, no. 17, pp. 265–272.
6. Kondratec' V. O., Macuy A. M. Identifikatsiya spivvidnoshennya ruda/voda v protsesi podribnennya piskiv klasyfikatora [Identification of ore / water ratio in the grinding of classifier sands]. *Visnyk Vinnyts'kogo politekhnichnogo instytutu* [Bulletin of the Vinnitsa Polytechnic Institute]. Vinnitsa, 2009, no. 3. pp. 8–12.
7. Kondratec' V. O. Identifikatsiya rozridzhennya pul'py u mlyni, shho podribnyue pisky klasyfikatora z dodatkovoyu rudoyu [Identification of pulp dilution in a mill that grinds classifier sand with additional ore]. *Vestnik Khersonskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Kherson National Technical University]. Kherson, 2014, no. 3. pp. 305–310.
8. Dmitriev V. I. *Sposob opredeleniya proizvoditel'nosti spiral'nogo klassifikatora po peskam* [A method of determining the productiveness of a spiral classifier by sands]. SU patent no. 1269838. 15.11.1986.
9. Morozov E. F. *Sposob opredeleniya proizvoditel'nosti spiral'nogo klassifikatora po peskam* [A method of determining the productiveness of a spiral classifier by sands]. SU patent no. 1530258. 23.12.1989.
10. Dmitriev V. I. *Sposob operativnogo opredeleniya proizvoditel'nosti spiral'nogo klassifikatora po peskam* [A method of determining the operational productiveness of a spiral classifier by sands]. SU patent no. 1659102, 30.06.1991.
11. Degtyarev F. N., Merzlyakov A. A., Kondrats V. A., Bayda L. P., Goncharov N. V. *Ustroistvo dlya izmereniya tsirkuliruyushchey nagruzki* [A device for measuring circulating load]. SU patent no. 570398. 30.08.1977.
12. Kondratec' V. O. Teoretychne doslidzhennya skanuvannya poverkhni vidkrytykh material'nykh potokiv promenyamy nezminnoyi dozhyny [A theoretical study of scanning the surface of open material flow by rays of constant length]. *Visnyk Kryvoriz'kogo natsional'nogo universytetu* [Bulletin of the Kryvyi Rih National University]. Kryvyi Rih, 2013, no. 35, pp. 174–178.
13. Kondratec' V. O., Macuy A. M. Teoretychne doslidzhennya aktyvnogo i pasyvnogo skanuvannya poverkhni vidkrytykh material'nykh potokiv [Theoretical study of active and passive scanning of the surface of open material flow]. *Gimnychyy visnyk* [Mining Journal]. Kryvyi Rih, 2015, no. 100, pp. 52–57.
14. Kondratec' V. O., Macuy A. M. Matematychno modelyuvannya rivnomirnogo rukhu pul'py u piskovomu zholobi odnospiral'nogo klasyfikatora [Mathematical modeling of uniform motion of pulp in the sand chute of a single spiral classifier]. *Visnyk Kryvoriz'kogo natsional'nogo universytetu* [Bulletin of the Kryvyi Rih National University]. Kryvyi Rih, 2016, no. 41, pp. 6–12.

15. Kondratec' V. O., Macuy A. M. Doslidzhennya umov formuvannya potoku pul'py u piskovomu zholobi odnospiral'nogo klasyfikatora [The study of the conditions of formation of pulp stream in the sand chute of a single spiral classifier]. *Visnyk Nacional'nogo tehničnogo universytetu «KhPI». Seriya: Matematyčne modelyuvannya v tekhnici ta tekhnologiyakh* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Mathematical modeling in engineering and technology]. Kharkiv, 2016, no. 6, pp. 24–30.
16. Macuy A. M. Matematyčne modelyuvannya formuvannya piskovogo tila u mizhvytkovomu prostori mekhanichnogo spiral'nogo klasyfikatora [Mathematical modeling of forming sand body in the intertum space of a mechanical spiral classifier]. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh i biznes protsessov* [Automation of technological and business processes]. Odesa, 2015, no. 4, pp. 9–17.
17. Kondratets V. A. Issledovanie vlagosoderzhaniya peskov dvukhsiral'nykh mekhanicheskikh klasyfikatorov v promyshlennykh usloviyakh [The research of sand moisture content of double-mechanical classifiers in the industrial conditions]. *Visnyk Kryvoriz'kogo nacional'nogo universytetu* [Bulletin of the Kryvyi Rih National University]. Kryvyi Rih, 2014, no. 36, pp. 168–172.

Надійшла (received) 06.10.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Моделювання формування піскового потоку у пісковому жолобі механічного односпіралного класифікатора / А. М. Мацуй, В. О. Кондратець // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 16 (1188). – С. 53 – 59. Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2222-0631.

Моделирование формирования пескового потока в песковом желобе механического односпирального классификатора / А. Н. Мацуй, В. А. Кондратец // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 16 (1188). – С. 53 – 59. Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2222-0631.

Modeling formation of sand flow in sand chute of mechanical single spiral classifier / A. N. Matsui, V. A. Kondratets, // Bulletin of National Technical University «KhPI» Series: Mathematical modeling in engineering and technologies. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2016. – № 16 (1188). – pp. 53 – 59. Bibliogr.: 17 titles. – ISSN 2222-0631.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / Information about authors

Мацуй Анатолій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград; тел.: (050) 060-48-70, (0522) 56-70-91; e-mail: matsuyan@mail.ru.

Мацуй Анатолій Николаевич – кандидат технических наук, доцент, Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград; тел.: (050) 060-48-70, (0522) 56-70-91; e-mail: matsuyan@mail.ru.

Matsui Anatolii Nikolaevich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Kirovohrad National Technical University, Kirovohrad; tel.: (050) 060-48-70, (0522) 56-70-91; e-mail: matsuyan@mail.ru.

Кондратець Василь Олександрович – доктор технічних наук, професор, Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград; тел.: (0522) 56-70-91; e-mail: matsuyan@mail.ru.

Кондратец Василий Александрович – доктор технических наук, профессор, Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград; тел.: (0522) 56-70-91; e-mail: matsuyan@mail.ru.

Kondratets Vasiliy Aleksandrovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Kirovohrad National Technical University, Kirovohrad; tel.: (0522) 56-70-91; e-mail: matsuyan@mail.ru.

УДК 629.017

В. И. НАЗАРОВ, А. И. НАЗАРОВ, И. А. НАЗАРОВ, Д. В. АБРАМОВ, А. И. ТИМЧЕНКО

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БОРТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИЛЫ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ С УЧЕТОМ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ

Запропоновано математичну модель екстреного гальмування легкового автомобіля в експлуатаційних умовах з урахуванням аеродинамічного опору, на підставі якої отримано аналітичні залежності розподілу гальмівних сил між колесами різних бортів. На прикладі легкових автомобілів Lanos, Lada Priora, Chevrolet Aveo, Forza розглянуто роботу створеного алгоритму, наведено результати роботи комп'ютерної програми і аналіз отриманих даних розрахункового експерименту. Проаналізовано перспективи подальших досліджень.

Ключові слова: легковий автомобіль, бортовий розподіл гальмівної сили, експлуатаційні умови.

Предложена математическая модель экстренного торможения легкового автомобиля в эксплуатационных условиях с учетом аэродинамического сопротивления, на основании которой получены аналитические зависимости распределения тормозных сил между колесами различных бортов. На примере легковых автомобилей Lanos, Lada Priora, Chevrolet Aveo, Forza рассмотрена работа созданного алгоритма, приведены результаты работы компьютерной программы и анализ полученных данных расчетного эксперимента. Проанализированы перспективы дальнейших исследований.

Ключевые слова: легковой автомобиль, экстренное торможение, бортовое распределение тормозной силы, эксплуатационные условия.

© В. И. Назаров, А. И. Назаров, И. А. Назаров, Д. В. Абрамов, А. И. Тимченко, 2016