УДК 001.57:681.5.015

В.О. КОНДРАТЕЦЬ, А.М. МАЦУЙ
Кіровоградський національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМУВАННЯ ПІСКОВОГО ТІЛА МЕХАНІЧНОГО КЛАСИФІКАТОРА В УМОВАХ СПРАЦЮВАННЯ РОБОЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ СПІРАЛІ

Недосконалість керування односпіральними класифікаторами через недостатню вивченість закономірності формування піскового тіла приводить до значних збитків в рудопідготовці. Врахування даної закономірності дозволяє завдяки покращенню якості автоматичного керування зменшити втрати в першій стадії подрібнення руди. Розв'язання теоретичної частини цієї задачі складає актуальність статті, метою якої є моделювання формування піскового продукту (тіла) в механічному класифікаторі в умовах спрацювання спіралі. Завданням є визначення впливу спрацювання робочих елементів спіралі на функціональний зв'язок об'єму і висоти матеріалу між витками. Встановлено експериментальну залежність об'єму піскового тіла від його висоти при неспрацьованій спіралі та її апроксимуючу функцію. Спрацювання робочих елементів спіралі в допустимих межах створює незначний вплив на визначення об'єму піскового тіла за його висотою.

Ключові слова: класифікатор, спіраль, об'єм пісків, вплив спрацювання, точність

В.А. КОНДРАТЕЦ, А.Н. МАЦУЙ
Кировоградский национальный технический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕСКОВОГО ТЕЛА МЕХАНИЧЕСКОГО КЛАССИФИКАТОРА В УСЛОВИЯХ ИЗНОСА РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ СПИРАЛИ

Несовершенство управления односпиральными классификаторами из-за недостаточной изученности закономерностей формирования пескового тела приводит к значительным убыткам в рудоподготовке. Учет этой закономерности позволяет посредством улучшения качества автоматического управления уменьшить убытки в первой стадии измельчения руды. Решение теоретической части этой задачи составляет актуальность статьи, целью которой является моделирование формирования пескового продукта (тела) в механическом классификаторе в условиях износа спирали. Заданием является определение влияния износа рабочих элементов спирали на функциональную связь объема и высоты материала между витками. Определена экспериментальная зависимость объема пескового тела от его высоты при неизношенной спирали и ее аппроксимирующая функция. Износ рабочих элементов спирали в допустимых пределах незначительно влияет на определение объема пескового тела по его высоте.

Ключевые слова: классификатор, спираль, объем песков, влияние износа, точность

V.A. KONDRATETS, A.N. MATSUI
Kirovohrad National Technical University

MODELING OF THE FORMATION OF THE BODY OF MECHANICAL SAND CLASSIFIERS IN WEAR CONDITIONS OF WORK ITEMS SPIRAL

Imperfection of management of single-spiral classifiers due to lack of scrutiny the laws of the formation of sand body leads to significant losses in the ore preparation. Accounting for this law allows to reduce losses in the first stage of ore grinding, by improving the quality of automatic control. The decision of the theoretical part of this problem is the relevance of articles, the aim of which is modeling the formation of sand product (the body) in a mechanical classifier in a spiral of wear. The task is to determine effect of wear spiral of work items on the functional relationship of volume and height of the material between the turns. Established experimental dependence sand volume of the body of its height when not worn spiral and its approximating function. Wear a spiral of work items within an acceptable range has little effect on the definition of sand on the volume of the body height.

Keywords: classifier, spiral, the volume of sand, impact wear, accuracy

Постановка проблеми

Відсутність інформації про формування крупного твердого між двома сусідніми витками спіралі механічного класифікатора (піскового тіла) стримує підвищення якості автоматичного керування першою стадією подрібнення вихідної руди на збагачувальних фабриках, що приводить до значних економічних збитків внаслідок перевитрачання електроенергії і матеріалів. Ефективність рудопідготовки може значно

покращитись завдяки розв'язанню даної науково-технічної задачі. 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). Оскільки дана робота присвячується знаходженню одного з основних технологічних параметрів механічного спірального класифікатора – продуктивності по пісках, її тема є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Автоматизації процесів рудопідготовки на збагачувальних фабриках приділяється значна увага як зарубіжними [1, 2], так і вітчизняними вченими [3]. У даних роботах розглядаються засоби автоматизації процесів класифікації. Їх можливо уточнити роботами [4, 5, 6], де вони удосконалюються, визначення технологічного параметра зводиться до розгляду піскового тіла механічного спірального класифікатора. Тут практично відсутнє запізнювання внаслідок оцінювання кількості продукту в межах спіралі класифікатора. Однак недоліком є велика кількість параметрів, які враховуються, і необхідний час їх введення і обчислення, що фактично створює запізнювання, ускладнює засоби і підвищує їх вартість. Тому у більш пізніших роботах відмічається необхідність розробки інформаційних засобів, підвищення їх надійності і точності, зменшення вартості, важливість вимірювання витрати продуктів збагачення [2, 3, 7]. Реакцією на це стала робота [8], де реалізовано підхід вимірювання продуктивності механічного спірального класифікатора, який забезпечує реагування на мінімальну кількість матеріалу між витками спіралі і не відрізняється запізнюванням, складністю та великою вартістю. В [8] доведено, що об'єм піскового тіла механічного спірального класифікатора у міжвитковому просторі спіралі визначається рівнем твердого вздовж вертикалі, яка проходить через точку контакту циліндричної постелі і подавального витка у самій нижній точці. Однак дану залежність в умовах спрацювання робочих елементів спіралі ніхто не вивчав. Тому розв'язанню цієї задачі і присвячена дана публікація.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є моделювання формування піскового тіла механічного класифікатора в умовах зносу спіралі і визначення впливу спрацювання робочих елементів на функціональний зв'язок об'єму і висоти матеріалу між витками.

Викладення основного матеріалу дослідження

Моделювання здійснюємо на конкретному типі технологічного агрегату 1КСН-30, який отримав найбільш широке розповсюдження на рудозбагачувальних фабриках України. Класифікатор встановлюють під кутом α=18°30′ до горизонту. Його спіраль має діаметр $2R_C$=3 м, вона виконана двозахідною з кроком B=1,8 м і звичайно обертається зі швидкістю 0,05 об/с (3 об/хв.) [9]. На кінцях витків спіралі встановлюють змінні робочі елементи висотою 0,33 м, які спрацьовуються. Найбільше спрацювання робочого елемента досягає 0,04 м. Тоді радіус спіралі складає 1,46 м.

Попередніми дослідженнями встановлено [8], що існує функціональна залежність між величиною об'єму матеріалу у міжвитковому просторі спіралі (пісковому тілі) і його висотою. Це за виміряною висотою піскового тіла механічного спірального класифікатора дозволяє судити про його об'єм. Однак спрацювання робочих елементів і, як наслідок, зменшення їх висоти і радіуса спіралі може порушити цей зв'язок та привести до значних похибок вимірювання об'єму матеріалу. В той же час при спрацюванні робочих елементів наростає циліндрична постіль з піскового матеріалу, а піски, займаючи міжвитковий простір при меншому радіусі спіралі, розташовуються на більш високій відмітці подавального (заднього) витка, де ширина верхніх шарів матеріалу більша. Тобто, відбувається компенсація – менша ширина піскового тіла при меншому радіусі спіралі компенсується більшим його розширенням у верхній частині порівняно з неспрацьованими робочими елементами. Такий механізм компенсації перевіряємо шляхом моделювання процесу спрацювання робочих елементів спіралі.

Піскові тіла знаходяться на циліндричній постелі між двома витками спіралі. Кінцеве піскове тіло, яке розглядається, розташовується біля піскового порога класифікатора, але ще не переходить через нього під дією рухомої спіралі. При переміщенні подавального (заднього) витка 5, показаного на рис.1, у напрямі стрілки B матеріал розвантажується через пісковий поріг класифікатора в напрямі стрілки A до піскового жолоба. Піскове тіло механічного спірального класифікатора складається з двох частин – нижньої і верхньої, які відмінні за формою. Нижня частина піскового тіла знаходиться між двома витками спіралі і займає простір вздовж вертикалі до рівня, коли матеріал, що розташовується горизонтально, підходить до нижньої основи переднього витка, як це показано на рис.1. Знизу нижня частина піскового тіла обмежується постіллю циліндричної форми, яка створюється з пісків при обертанні спіралі. Найбільше значення висоти матеріалу у нижній частині піскового тіла є константою для класифікатора і дорівнює $h_C = (B/2)\sin\alpha$. Для прийнятого класифікатора цей параметр складає h_C=0,2853 м. При спрацюванні спіралі відбуваються зміни, оскільки робочий елемент стає більш коротким. Зважаючи на те, що висота робочих елементів скорочується, циліндрична поверхня постелі піднімається на величину спрацювання, а h_C залишається незмінною, найбільша висота піскового тіла за даних умов зменшується. Зменшення висоти піскового тіла визначається

спрацюванням, помноженим на $cos18°30'$. Його максимальне значення складає 0,03793 м. При найбільшому спрацюванні робочих елементів висота верхньої частини піскового тіла зменшується на 0,03793 м. Однак працездатність класифікатора зберігається, зважаючи на те, що у нього існує великий запас піскової продуктивності [10].

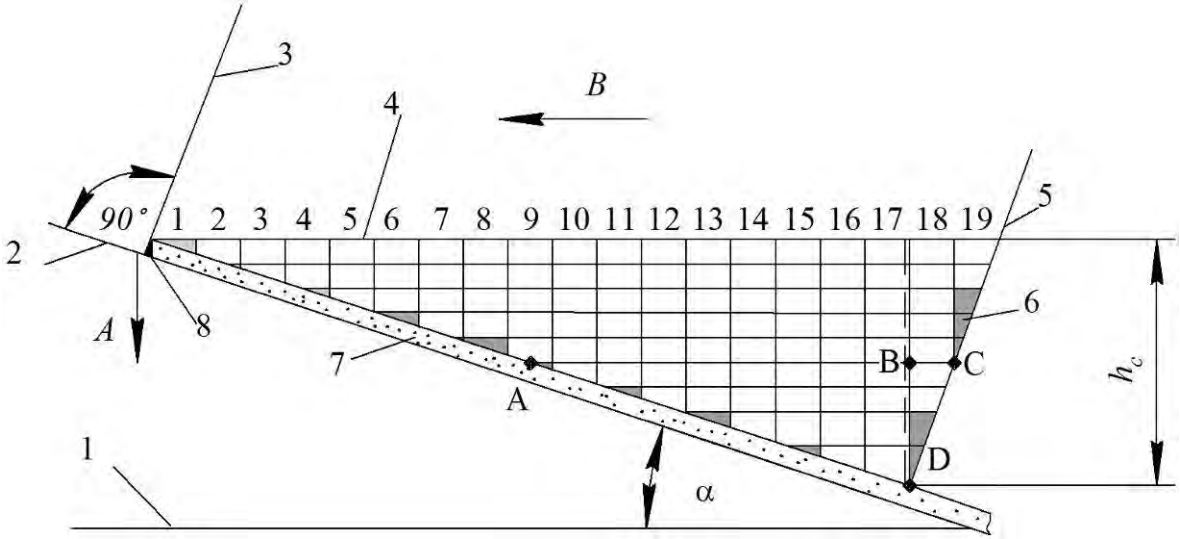

Рис.1. Нижня частина піскового тіла механічного спірального класифікатора, подана елементарними складовими у вертикальному розрізі, який проходить через вісь обертання спіралі:
1 – горизонталь; 2 – нахилене дно циліндричної постелі, створене з пісків класифікатора; 3 – передній виток спіралі; 4 –горизонтальна поверхня нижньої частини піскового тіла, яка обмежує його максимальний розмір; 5 – задній (подаючий) виток спіралі; 6 – неповні елементи піскового тіла; 7 – нарощена частина циліндричної постелі при зносі спіралі; 8 – зсув елементарних складових піскового тіла в горизонтальній площині в наслідок зносу спіралі; 1-19 – елементарні вертикальні стовпчики матеріалу, створені елементарними складовими

Найбільш ефективним є графоаналітичне моделювання процесу спрацювання робочих елементів спіралі. Подаємо нижню частину піскового тіла класифікатора у вигляді кількох горизонтально розташованих шарів матеріалу однакової товщини Δh, кількість яких відповідає величині h_C. Якщо Δh=0,0317 м, то нижня частина піскового тіла включає дев'ять горизонтальних шарів матеріалу. Тоді у верхній частині піскового тіла при неспрацьованих робочих елементах розміщується два горизонтальних шари. Спрацювання робочих елементів спіралі на 0,04 м зменшує верхню частину піскового тіла до одного шару. Кут нахилу витків спіралі до осі обертання дещо змінюється, оскільки дорівнює $\gamma=arctg4R_C/B$. Зміна радіуса спіралі при спрацюванні робочих елементів при незмінному B приводить до варіювання γ, але воно відбувається в незначних межах. При неспрацьованій спіралі γ=73°20′.

Моделювання розпочинаємо з нижньої частини піскового тіла, розглядаючи верхню геометричну фігуру горизонтального розрізу на стику двох частин – нижньої і верхньої. Верхній шар нижньої частини піскового тіла має форму, обмежену параболою і нахиленою під кутом γ прямою, що характеризує лінію змочування на робочих елементах подавального (заднього) витка спіралі. У нижніх шарах форма фігур у горизонтальних розрізах піскового циліндричного тіла повторюється при зменшених розмірах, що характеризуються довжиною відповідних ліній змочування. Площі цих геометричних фігур вздовж осі спіралі l є змінними, тому їх оцінюємо на елементарних ділянках довжиною Δl. Приймемо довжину Δl=0,05 м. Об'єм пісків у конкретному горизонтальному шарі матеріалу дорівнює сумі площ геометричних фігур довжиною Δl, помноженій на висоту шару матеріалу Δh. Такий же підхід здійснюємо і стосовно шарів матеріалу у верхній частині піскового тіла. Лише тут горизонтальні шари матеріалу наближено мають форму трапецій. Оскільки при зменшенні висоти пісків (зниженні піскової продуктивності) початки нижніх шарів матеріалу зміщуються праворуч, розташування в моделі вертикальних стовпчиків слід розпочинати від вертикалі BD ліворуч і праворуч, як це демонструється на рис.1. При спрацюванні спіралі вертикаль BD, що слідує з рис.1, зміщується праворуч. При найбільшому спрацюванні, що дорівнює 0,04 м, зміщення складає 12,69 мм при довжині Δl=0,05 м. Воно суттєво не впливає на результат моделювання, тому всі моделі розглядаються відносно вертикалі BD, що демонструється на рис.1.

У прямокутних трикутниках ABD і DBC, нанесених на рис.1, катет BD є спільним і його задаємо у кількості складових Δh, де величина змінюється від 1 до 9. З трикутника ABD катет $AB=BD/tg\alpha$, а з прямокутного трикутника DBC катет $BC=BD\cdot tg\alpha$. Горизонтальний відрізок $AC=AB+BC$. Для різних шарів матеріалу визначаємо параметри AB, BC і AC та кількість елементарних складових Δl в них. Дані зводимо в табл.1. Верхній шар нижньої частини піскового тіла при спрацьованій спіралі класифікатора також знаходиться у горизонтальній площині і відповідає рівню матеріалу h_C=0,2853 м. Тому дані табл.1 однаково підходять як для моделювання піскового тіла при неспрацьованій, так і при будь-якій степені спрацювання

спіралі. Побудова горизонтальних шарів (одного чи двох) верхнього піскового тіла також витікає з рис.1. Тут завжди буде 19 елементарних вертикальних стовпчиків.

Таблиця 1

Значення довжини відрізків у горизонтальних шарах нижньої частини піскового тіла механічного спірального класифікатора та кількості елементарних складових *Δl* в них

Порядковий номер шару матеріалу, який розпочинається знизу піскового тіла *n*	Висота шару матеріалу *n·Δh*, м	Довжина відрізка *AB*, м	Кількість елементарних складових *Δl* у відрізку *AB*	Довжина відрізка *BC*, м	Кількість елементарних складових *Δl* у відрізку *BC*	Довжина відрізка *AC*, м	Кількість елементарних складових *Δl* у відрізку *AC*
1	0,0317	0,0947	1,89	0,0106	0,21	0,1053	2,11
2	0,0634	0,1895	3,79	0,0212	0,42	0,2107	4,21
3	0,0951	0,2842	5,68	0,0318	0,64	0,3160	6,32
4	0,1268	0,3790	7,58	0,0424	0,85	0,4214	8,43
5	0,1585	0,4737	9,47	0,0530	1,06	0,5267	10,53
6	0,1902	0,5684	11,37	0,0636	1,27	0,6320	12,64
7	0,2219	0,6632	13,26	0,0742	1,48	0,7374	14,75
8	0,2536	0,7579	15,16	0,0848	1,70	0,8427	16,85
9	0,2853	0,8527	17,05	0,0955	1,91	0,9482	18,96

З даних табл.1 і рис.1 видно, що при зменшенні рівня матеріалу у міжвитковому просторі спірального класифікатора загальна кількість елементарних складових *Δl* на відрізку *AC* зменшується з 18,96 до 2,11. При прийнятих розмірах елементарних складових *Δl* і *Δh* мають місце не повністю заповнені структури 6, які демонструються на рис.1 і є зафарбованими. Їх об'єми слід віднести до сусідніх елементів, нехтувати ними або враховувати іншим підходом.

В процесі моделювання визначаємо об'єм піскового тіла при фіксованих висотах, кратних *Δh*, тобто *Δh*=1 *Δh*,…,11 *Δh*, включаючи весь можливий обсяг матеріалу. Об'єм піскового тіла визначаємо як суму об'ємів матеріалу в окремих горизонтальних шарах. Об'єм матеріалу в окремому горизонтальному шарі дорівнює скоректованій з врахуванням крайових ефектів його площі, помноженій на висоту *Δh*. Площу будь-якого горизонтального шару матеріалу визначаємо як суму середніх ліній трапецій елементарних складових довжиною *Δl*, помножених на їх висоту $h_T = \Delta l$. Отже, для знаходження об'ємів шарів матеріалу запропонованим методом моделювання необхідно будувати сім'ю проекцій горизонтальних матеріальних шарів піскового тіла на горизонтальну площину. Для здійснення такої побудови визначаємо параметри ліній змочування, що відбиваються на задньому (подавальному) витку спіралі. Спочатку знаходимо довжину хорди *X*, яка створюється проекцією поверхні матеріалу і траєкторії обертання витків на площину, перпендикулярну осі спіралі. Довжини хорд, що відповідають лініям змочування на подавальних витках спіралі, дорівнюють

$$X_n = 2\sqrt{R_C^2 - \left(R_C - n\Delta h\right)^2}\ , \tag{1}$$

де *n* – порядковий номер шару матеріалу, починаючи знизу, *n*=1,…,11.

Довжини ліній змочування визначаємо відповідно залежності

$$LZ_n = X_n / \cos\left(90° - \gamma\right). \tag{2}$$

Віддалення лінії змочування від вертикалі *BD*, позначеній на рис.1, знаходимо за залежністю

$$Y = n \cdot \Delta h \cdot tg\alpha\ . \tag{3}$$

Для шарів верхнього піскового тіла лінії змочування будуть виникати і на передньому витку спіралі. У такому випадку використовуємо формулу (1), приймаючи *n*=1 для першого шару і *n*=2 для другого (верхнього) шару верхньої частини піскового тіла. Довжину лінії змочування на передньому витку визначаємо за формулою (2).

Основні параметри ліній змочування на задньому (подавальному) витку спіралі класифікатора, розраховані за (1)-(3), при різній степені її спрацювання приводяться в табл.2. За даними табл.2 будуємо проекції шарів матеріалу піскового тіла на горизонтальну площину. Проекції шарів матеріалу повного піскового тіла на горизонтальну площину для неспрацьованої спіралі показані на рис.2. Проекції шарів матеріалу піскового тіла на горизонтальну площину для спрацьованої спіралі на 0,04 м приводяться на рис.3. З рис.2 і рис.3 видно підхід врахування крайових ефектів у шарах матеріалу, де звужуються проекції шарів як вздовж осі обертання, так і в поперечному напрямі. Проекції шарів матеріалу піскового тіла на горизонтальну площину для спрацьованої спіралі на 0,02 м займають проміжне положення. За даними проекцій шарів матеріалу на горизонтальну площину знаходимо об'єми пісків у кожному шарі та відповідно їх сумі – у пісковому тілі в цілому при різних його висотах, що виражаються у одиницях *Δh*.

Таблиця 2

Значення основних параметрів ліній змочування на задньому (подавальному) витку спіралі класифікатора при різній степені її спрацювання

Порядковий номер шару матеріалу, який розпочинається знизу піскового тіла *n*	Висота шару матеріалу $n \cdot \Delta h$, м	Довжина лінії змочування *LZ*, м			Віддалення лінії змочування від вертикалі піскового тіла *Y*, м		
		Робочі елементи не спрацьовані	Робочі елементи спрацьовані на 0,02 м	Робочі елементи спрацьовані на 0,04 м	Робочі елементи не спрацьовані	Робочі елементи спрацьовані на 0,02 м	Робочі елементи спрацьовані на 0,04 м
1	0,0317	0,6404	0,6371	0,6318	0,0106	0,0106	0,0106
2	0,0634	0,9008	0,8963	0,8884	0,0212	0,0212	0,0212
3	0,0951	1,0974	1,0915	1,0820	0,0318	0,0318	0,0318
4	0,1268	1,2601	1,2535	1,2425	0,0424	0,0424	0,0424
5	0,1585	1,4011	1,3936	1,3812	0,0530	0,0530	0,0530
6	0,1902	1,5262	1,5179	1,5043	0,0636	0,0636	0,0634
7	0,2219	1,6392	1,6302	1,6154	0,0742	0,0742	0,0743
8	0,2536	1,7423	1,7326	1,7167	0,0848	0,0848	0,0849
9	0,2853	1,8373	1,8269	1,8100	0,0955	0,0955	0,0955
10	0,3170	1,9253	1,9143	1,8965	0,1061	0,1061	0,1060
11	0,3487	2,0070	-	-	0,1167	-	-

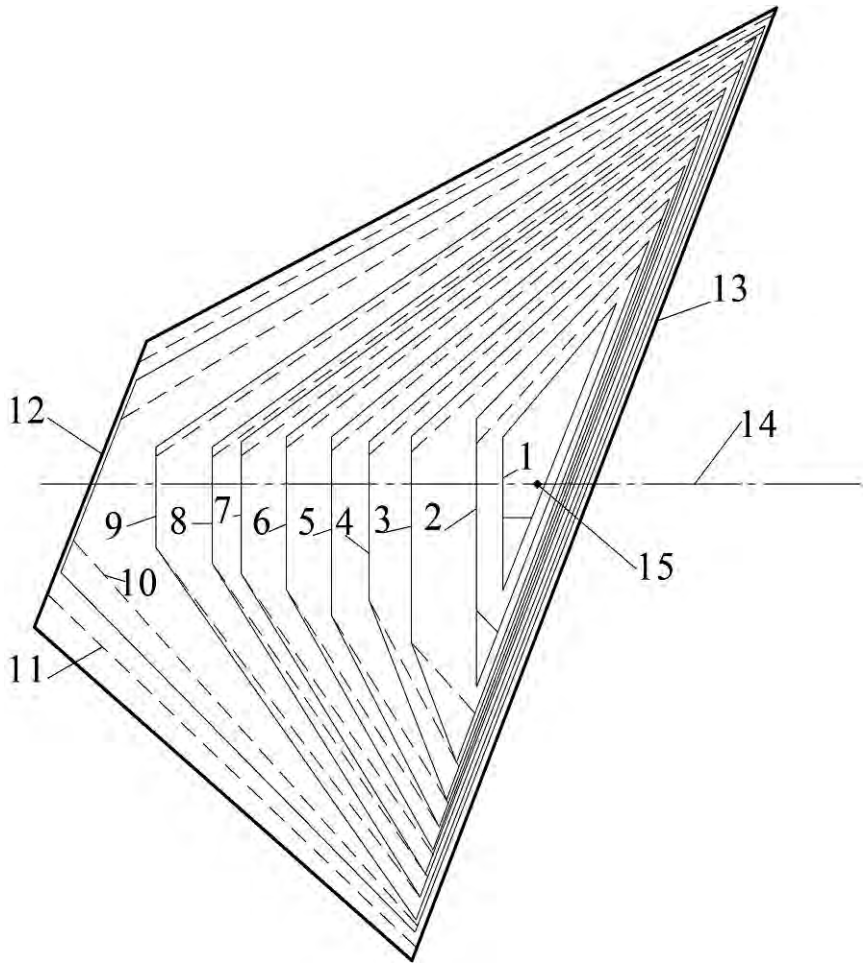

Рис.2. Проекції шарів матеріалу повного піскового тіла на горизонтальну площину при неспрацьованій спіралі: 1 – 11 – проекції шарів матеріалу; 12 – проекції ліній змочування на передньому витку; 13 – проекції ліній змочування на задньому (подавальному) витку; 14 – вісь обертання спіралі; 15 – проекція вертикалі піскового тіла

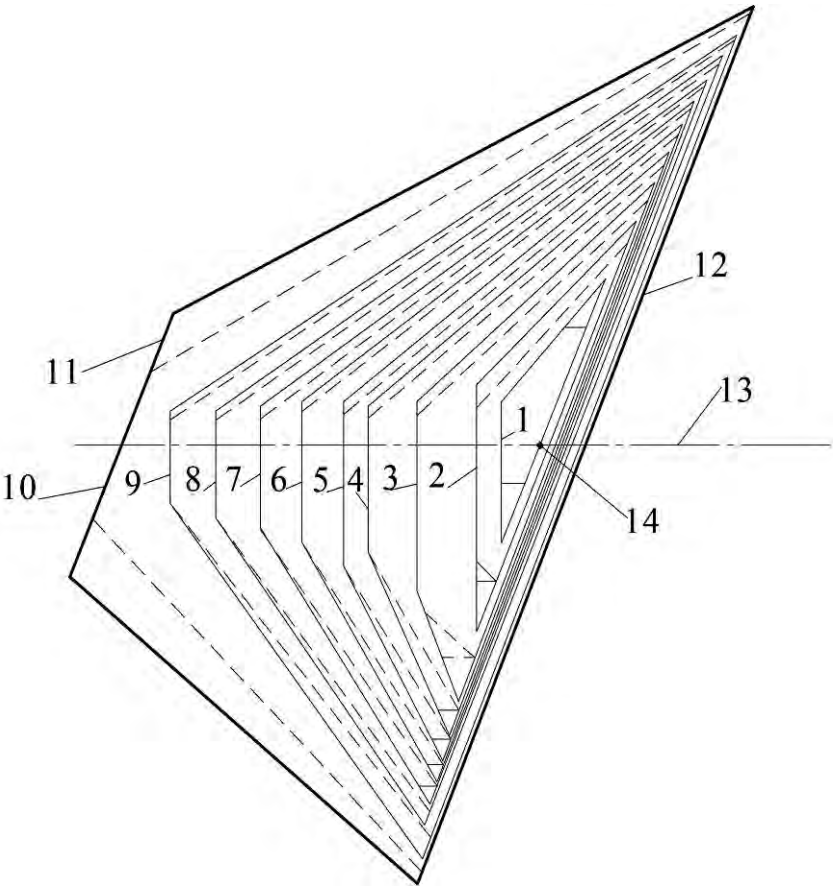

Рис.3. Проекції шарів матеріалу піскового тіла на горизонтальну площину при спрацюванні спіралі на 0,04 м: 1 – 10 – проекції шарів матеріалу; 11 – проекція лінії змочування на передньому витку; 12 – проекції ліній змочування на задньому (подавальному) витку; 13 – вісь обертання спіралі; 14 – проекція вертикалі піскового тіла

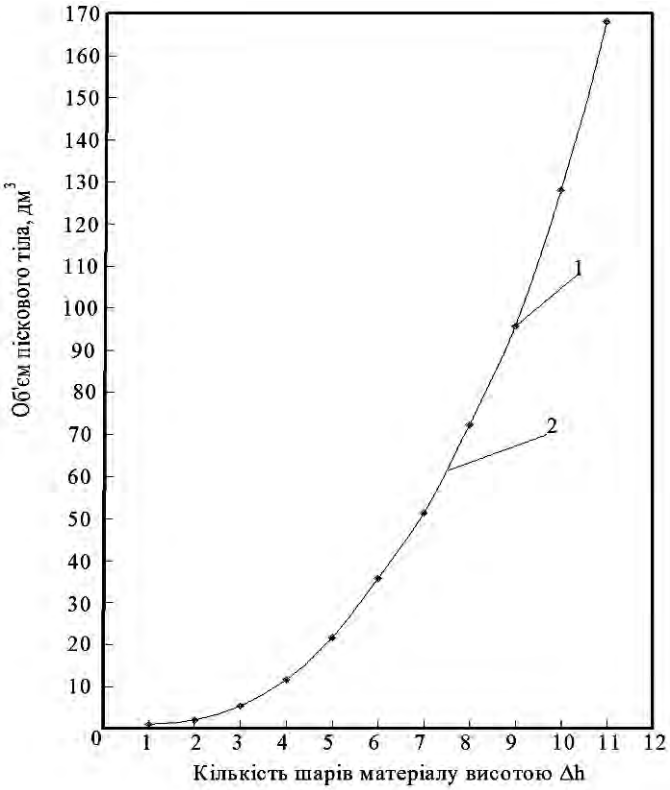

Рис.4. Залежність обєму піскового тіла від висоти вздовж його вертикалі при незношеній спіралі: 1 – точки, отримані в процесі моделювання; 2 – крива, що відповідає апроксимуючій функції

Отримані результати моделювання дозволяють побудувати залежності зміни об'єму піскового тіла спірального класифікатора в функції висоти вздовж його вертикалі. Залежність об'єму матеріалу в пісковому тілі від його висоти при незношеній спіралі приводиться на рис.4. Вона достатньо точно апроксимується функцією виду

$$V_{PT} = 2.874 \cdot 10^{-6} h_{PT}^3 + 3.077 \cdot 10^{-3} h_{PT}^2 + 2.243 \cdot 10^{-2} h_{PT} - 0.4359 \text{, дм}^3, \quad (4)$$

де h_{PT} – висота піскового тіла в мм.

Тобто, в результаті моделювання отримуємо рівняння, яке дозволяє за виміряною висотою піскового тіла визначати його об'єм. Дані, отримані для зношених спіралей, мають такий же характер, але розкид точок знаходиться в межах 3,14…4,17%. Він в основному безсистемний, що підкреслює випадковість, а не систематичність відхилень. Це в основному зв'язується з тим, що істинні невеликі зміни піскового тіла в певних ситуаціях при спрацюванні спіралі стають сумірними з похибками, які викликані методом моделювання, в основному врахуванням крайових ефектів при неповному створенні елементарних складових $\Delta l \times \Delta h$.

Отже, результати моделювання встановлюють незначні відхилення залежностей при спрацюванні спіралі від базової величини, що відповідає незношеним робочим елементам. Тому залежність (4) можливо використовувати без врахування спрацювання спіралі.

Висновки

В процесі моделювання формування піскового тіла механічного класифікатора в умовах спрацювання робочих елементів спіралі встановлено:

- експериментальну залежність об'єму піскового тіла від висоти вздовж його вертикалі та її апроксимуючу функцію;
- спрацювання робочих елементів спіралі в допустимих межах (до 0,04 м) створює незначний вплив на визначення об'єму піскового тіла за його висотою.

Перспективами подальших досліджень у цьому напрямі є розробка систем вимірювання піскової продуктивності механічних спіральних класифікаторів.

Список використаної літератури

1. Линч А. Дж. Циклы дробления и измельчения / Линч А. Дж.: [пер. с англ.].- М.: Недра, 1981.- 342с.
2. 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.- 512с.
3. Измельчение. Энергетика и технология / [Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И. и др.].- М.: Изд. дом "Руда и Металлы", 2007.- 296с.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Купін А.І. Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології / Купін А.І. – Кривий Ріг: Видавництво КТУ, 2008.- 204с.
8. Мацуй А.М. Математичне моделювання формування піскового тіла у міжвитковому просторі механічного спірального класифікатора / А.М. Мацуй // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів.– 2015.– Т.7.– Вип.4.– С.9-17.
9. Верхотуров М.В. Гравитационные методы обогащения / Верхотуров М.В.- М.: МАКС Пресс, 2006.- 352с.
10. Разумов К.А. Проектирование обогатительных фабрик / Разумов К.А. – М.: Недра, 1970.- 592 с.