

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Корчевський Олександр Миколайович

УДК 622.767

ПНЕВМОВІБРАЦІЙНА СЕПАРАЦІЯ ЛОМУ КАБЕЛЬНО-
ПРОВІДНИКОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Спеціальність 05.15.08 - Збагачення корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ –2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі збагачення корисних копалин Донецького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник - доктор технічних наук
Гарковенко Євген Євгенович,
директор державного підприємства
«Укрвуглеякість», м. Донецьк, професор
кафедри збагачення корисних копалин
Донецького національного технічного університету
Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, доцент
Олійник Тетяна Анатоліївна,
Криворізький технічний університет
Міністерства освіти і науки України
завідувач кафедри збагачення корисних копалин;

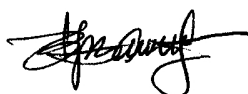
- кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник
Ширяєв Андрій Андрійович,
науково-виробниче підприємство «Гірник»,
старший науковий співробітник.

Захист відбудеться « 26 » 11 2010 року о 14-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.02 із захисту дисертацій при Національному гірничому університеті Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, пр. Карла Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, пр. Карла Маркса, 19.

Автореферат розісланий « 25 » 10 2010 року

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 08.080.02
к.т.н., доц.



В.В. Панченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Технічний прогрес в багатьох галузях промисловості призводить до збільшення кількості різноманітних відходів, що містять дорогоцінні і кольорові метали. Вилучення цінних компонентів з лому вимагає набагато менших витрат в порівнянні з розробкою нових родовищ. Тому використання вторинної сировини набуває особливого значення в сучасних умовах.

Для розділення компонентів відходів застосовуються різні технології, і, зокрема, пневмовібраційна сепарація, яка має найнижчі витрати при більших показниках ефективності вилучення цінних компонентів. Проте, на даний час властивості лому кольорових металів, що мають визначальний вплив на технологічний режим його розділення, до яких відноситься швидкість витання, довжина вільного пробігу та тривалість контакту частинок між собою, вивчені недостатньо. Тому дослідження цих параметрів переміщення частинок матеріалів лому в просторі сепаратора є важливим напрямом забезпечення високих технологічних показників процесу. Таким чином обумовлюється актуальність теми дисертаційної роботи.

У зв'язку з цим в дисертаційній роботі вирішувалась наукова задача, що полягає в виявленні основних залежностей параметрів режиму розділення лому кабельно-провідникової продукції при пневмовібраційній сепарації від розпушеності матеріалу.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Дисертацію виконано відповідно до тематичного плану науково-дослідних робіт ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», зокрема держбюджетній темі № 0199U001115, в якій здобувач брав участь як виконавець. Робота є частиною цих досліджень.

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування удосконалення технології пневмовібраційної сепарації лому кабельно-провідникової продукції, заснованої на вивченні взаємодій параметрів розділення. Для досягнення цієї мети були поставлені та вирішені наступні задачі дослідження:

- 1) аналіз існуючих методів сепарації відходів лому кабельно-провідникової продукції;
- 2) дослідження властивостей лому відходів кабельно-провідникової продукції, які мають визначальне значення при пневмовібраційній сепарації;
- 3) дослідження швидкості руху частинок складного лому відходів кабельно-провідникової продукції у вільних і обмежених умовах та експериментальне визначення аеродинамічних характеристик компонентів лому кабельно-провідникової продукції;
- 4) розробка моделі процесу пневмовібраційної сепарації і дослідження впливу розпушеності шару матеріалу на параметри переміщення частинок.

5) встановлення раціональних значень параметрів пневмовібраційної сепарації в лабораторних і напівпромислових умовах і розробка рекомендацій зі створеної нової удосконаленої технології.

Об'єкт дослідження - розподіл частинок багатокомпонентного лому відходів кабельно-провідникової продукції у пневмовібраційному сепараторі.

Предмет дослідження - процес переміщення частинок у висхідному повітряному потоці, який визначає показники розділення.

Методи дослідження. В роботі використовувалися: експериментальні дослідження фізичних та аеродинамічних характеристик частинок складного лому - для визначення їх впливу на ефективність вилучення цінних компонентів; чисельні методи - для вивчення довжини вільного пробігу та тривалості контакту частинок між собою при пневмовібраційній сепарації на основі методу дискретних елементів; методи математичної статистики - для оцінки достовірності одержаних регресійних залежностей, що описують вплив розпушеності матеріалу на довжину вільного пробігу та тривалість контакту частинок між собою.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

1) вперше встановлено, що найбільші значення величини вільного пробігу частинок відповідають розпушеності $m=0,5-0,6$, а сумарна довжина вільного пробігу знаходиться в логарифмічній залежності від розпушеності, яка має вигляд: $L_s = 30,12 \ln(m) + 127,96$ ($R^2=0,9221$), що дозволяє регулювати параметри процесу розділення без втрати продуктивності;

2) вперше показано, що максимальна тривалість контакту частинок при зіткненнях в робочому об'ємі сепаратора монотонно зменшується із збільшенням розпушеності за кубічною залежністю: $T_{max} = -14,18m^3 + 14,75m^2 - 5,48m + 4,13$ при $R^2=0,9925$, що дає можливість визначати раціональну розпушеність матеріалу без збільшення тривалості процесу і одержувати високе вилучення металу у концентрат;

3) вперше визначена раціональна розпушеність матеріалу $m=0,3...0,5$ при зіставленні питомих значень довжини вільного пробігу частинок і тривалості їх взаємодії при зіткненнях і встановлений зв'язок вилучення частинок алюмінію у важкий продукт ε і розпушеності m у вигляді емпіричної залежності $\varepsilon = 1/(1 + e^{-10m+5})$, що дозволяє управляти ефективністю процесу сепарації в межах $E=92-97\%$, змінюючи розпушеність матеріалу;

4) вперше одержана модель пневмовібраційної сепарації лому кабельно-провідникової продукції у вигляді залежності ефективності розділення від витрати повітря, амплітуди коливань і навантаження на сепаратор $E=84,52+1,1542X_1 + 0,4958X_2 - 1,0208X_3 + 0,2406X_1^2 - 0,3562X_2X_3$, що дозволило визначити раціональні параметри ведення процесу без втрати продуктивності.

Наукові положення, які захищаються в дисертації:

1. Переміщення частинок в робочому просторі сепаратора характеризується довжиною їх вільного пробігу і середньою тривалістю контакту однієї з одною. При цьому розподіл значень довжин вільного пробігу свідчить про переважання малих величин цього параметра при будь-

якій розпушеності матеріалу, що обумовлює вибір параметрів оптимального технологічного режиму шляхом регулювання розпушеності матеріалу.

2. Значення розпушеності матеріалу $m=0,3...0,5$ відповідають рівноімовірному попаданню частинок алюмінію і гуми в легкий і важкий продукт; при цьому встановлена залежність логістичного типу вилучення алюмінієвих частинок у важкий продукт від значення розпушеності, що дозволяє ефективно розділяти лом шляхом регулювання розпушеності матеріалу без втрати продуктивності.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується коректністю поставлених задач, використанням ефективних апробованих методів їх вирішення і статистично значущим об'ємом експериментальних досліджень, проведених в лабораторних і напівпромислових умовах. Розбіжність між розрахунковими і експериментальними значеннями параметрів процесу пневмовібраційної сепарації лому не перевищує 20% при довірчому інтервалі 0.95.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

1) розроблено лабораторну модель пневмовібраційного сепаратора для експериментального дослідження сепарації дробленого лому кабельно-провідникової продукції;

2) розроблено методику визначення раціонального режиму пневмовібраційної сепарації, який забезпечує високу ефективність сепарації частинок алюмінію і гуми $E = 94,3 \pm 2,28 \%$; створено напівпромисловий зразок сепаратора і проведені випробування режиму сепарації, в ході яких досягнуто ефективність 90-95%.

Реалізація висновків і рекомендацій роботи здійснена в ДонНДПІКМ при розробці технології розділення лому кольорових металів, в ДонНТУ на кафедрі збагачення корисних копалин - при викладанні навчальних дисциплін «Спеціальні методи збагачення», при курсовому і дипломному проектуванні за фахом збагачення корисних копалин.

Особистий внесок претендента полягає у формулюванні наукової задачі, мети, ідеї, задач дослідження, наукових положень, висновків і рекомендацій, а також в теоретичному рішенні поставлених задач, в проведенні експериментальних і напівпромислових досліджень, обробці і аналізі результатів, розробці методики досліджень, упровадженні результатів роботи.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних науково-практичних і науково-технічних конференціях: IV науково-технічній конференції ДонНДПІКМ (Донецьк, 1996), «Форум гірників» (Дніпропетровськ, 2005, 2009), „Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості” (Кривий Ріг, 2005-2008), на міжнародних науково-практичних конференціях зі збагачення корисних копалин (Донецька обл., с. Мелекіно 2004-2006, м. Бердянськ 2007-2009), на XV та XVI міжнародному конгресі зі збагачення (м. Пекін, 2006, м. Лексінгтон (США), 2010).

Публікації. Основні положення роботи опубліковані в 13 наукових роботах і 2 патентах України, з них 9 - в фахових виданнях, 4 - в матеріалах міжнародних конференцій і конгресів.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновку, списку використаної літератури з 130 найменувань і 2 додатків. Основний текст роботи викладений на 144 сторінках машинописного тексту, містить 92 малюнки і 6 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 175 стор. з додатками.

Автор висловлює вдячність проф. Назимко О.І., доц. Сухіну М.В., інж. Апоначенко С.С. за допомогу і консультації при виконанні дисертаційної роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми та сформульована наукова задача, мета, задачі досліджень, предмет і об'єкт досліджень, наведена наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, представлені наукові положення, що виносяться на захист, а також інформація про апробацію результатів дисертаційної роботи та публікації за її темою.

У **першому розділі** проаналізовано основні напрямки досліджень і розвитку пневмовібраційної сепарації сипких матеріалів, що зв'язані із застосуванням псевдорозрідженого шару матеріалу в сепараторі.

Аналіз цих робіт, літературних та патентних джерел виявив необхідність визначення раціональної розпушеності шару частинок, що визначає параметри їх руху і взаємодії при розділенні. Звідси витікає, що для підвищення ефективності пневмовібросепарації слід дослідити властивості лому кольорових металів, до яких відноситься швидкість витання, довжина вільного пробігу та тривалість контакту частинок між собою. На підставі аналізу сформульовані мета та задачі досліджень.

У **розділі 2** у відповідності до першої задачі виконані дослідження властивостей частинок лому як об'єкту гравітаційної сепарації, в ході яких визначені гранулометричні характеристики роздробленого матеріалу і вилучення цінних компонентів в різні класи.

У відповідності до другої задачі виконано порівняння методів розрахунку швидкостей витання частинок у вільних і обмежених умовах і обрана відома методика, що є найбільш універсальною. За цією методикою використані відомі співвідношення розрахунку швидкості витання частинок у вільних умовах:

$$V = \mu (A Re^2 \psi)^n / (d \Delta) . \quad (1)$$

Тут μ – динамічний коефіцієнт в'язкості середовища; A і n - коефіцієнти, значення яких залежать від параметра Ляценко $Re^2 \psi$, Δ – густина розподільного середовища; d – діаметр кулеподібних частинок або еквівалентний діаметр частинок правильної геометричної форми.

Для розрахунку швидкості витання частинок з формою, відмінною від кулеподібної, враховується коефіцієнт сферичності.

Обмеженість умов руху визначається розпушеністю шару частинок m , яка є величиною, обернено пропорційною концентрації частинок в одиниці об'єму робочого простору сепаратора. Швидкість витання в обмежених умовах визначалась за відомим співвідношенням:

$$V_{cm} = \mu (A Re^2 \psi_{cm})^n / d \Delta = \mu (A Re^2 \psi m^3)^n / (d \Delta). \quad (2)$$

Тут $Re^2 \psi_{cm}$ – параметр Лященко для обмежених умов, m – розпушеність.

На базі відомих співвідношень (1) і (2) одержані розрахункові швидкості витання частинок лому у вільних та обмежених умовах в залежності від розпушеності. Аналіз результатів розрахунків показав, що частинки гуми та алюмінію з еквівалентними діаметрами 1,31 і 0,62 см є рівнопадаємими, що необхідно врахувати при виборі шкали класифікації матеріалу. Статистичний аналіз визначив залежність швидкості витання від розміру частинок у вільних і обмежених умовах за логарифмічною функцією. Ізоляційні матеріали мають близькі значення швидкості витання, що обумовлює утрудненість їх розділення між собою.

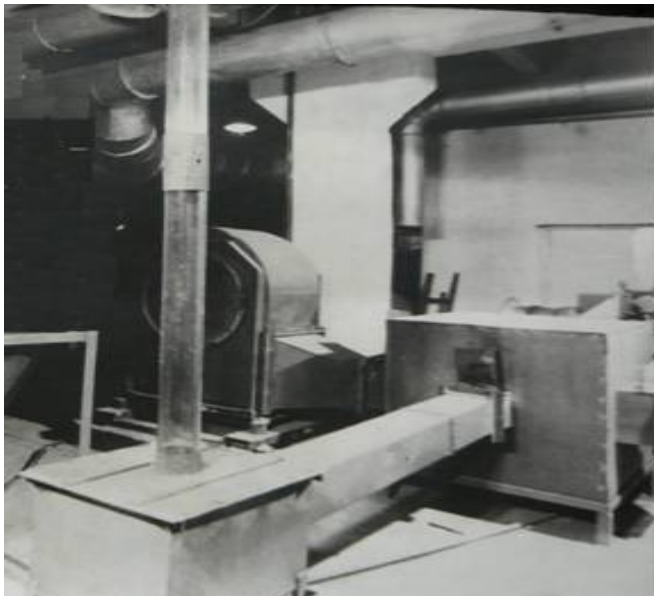


Рис. 1. Стенд для визначення швидкості витання частинок лому.

У відповідності до третьої задачі експериментальне визначення аеродинамічних характеристик компонентів лому, до яких відноситься швидкість витання частинок, виконувалось на лабораторному стенді (рис. 1). Стенд оснащений вентилятором, ресивером, газоходом і бункером, на якому встановлена вимірювальна трубка з оргскла діаметром 150 мм, що складається з двох частин, завдовжки по 1 м, сполучених металевою вставкою. Вставка має два отвори в бічних стінках для п'єзометричної трубки Піто-

Прандтля і мікроманометра, які призначені для визначення динамічного натиску потоку повітря.

Для дослідів були підготовлені частинки певної форми з відомими розмірами. Частинка розташовувалася на сітці, потім швидкість потоку нарощувалася до тих пір, поки частинка не підіймалася в трубці і не переходила в зважений стан. За швидкість витання у вільних умовах приймалася швидкість потоку, при якій частинка переміщалася по циліндру, не виходячи за його межі.

Встановлено, що розрахункові швидкості витання частинок правильної геометричної форми у вільних умовах перевищують експериментальні на 5-17%, для сферичних частинок відмінність незначна - не більш 7%, що свідчить про достатню точність вимірів. Найбільші відхилення мають пластинчасті частинки - 28-32%.

Швидкість руху в обмежених умовах визначалася для штучних сумішей частинок ізоляційних матеріалів і провідників току. При подачі повітря матеріал розпушувався і контролювалася висота розпушеного шару. За швидкість витання в обмежених умовах прийнята швидкість потоку, при якій частинки рівномірно розподілялися в шарі і залишалися в його межах без варіації за висотою циліндрової трубки. Експериментальна швидкість витання в обмежених умовах нижча за розрахункову, що може бути пов'язане з неврахованою взаємодією частинок при зіткненнях. Розбіжності їх значень складають 2-17%. Для частинок гуми і алюмінію крупністю 2,5-5 мм, що одержані при підготовці лому дробленням в ножовій дробарці СМД-149, були розраховані швидкості витання, які приведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Розрахункова швидкість витання частинок дробленого лому

Розмір частинок, мм	Швидкість вільного витання, м/с	Швидкість обмеженого руху при розпушеності, м/с				
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Алюміній						
1,72x7	14,97	5,4	7,0	8,8	10,8	12,8
1,72x2	12,25	4,4	5,8	7,2	8,8	10,5
Гума						
7x0,9	11,8	4,2	5,5	6,9	8,5	10,1

Дані табл. 1 свідчать, що при збільшенні розпушеності шару частинок швидкість витання росте, і при високій розпушеності наближається до швидкості, одержаної для вільних умов. Звідси витікає, що для підтримки необхідної продуктивності сепаратора слід підбирати раціональну розпушеність, яка забезпечує прийнятне взаємозасмічення продуктів.

Виконані дослідження властивостей лому як об'єкта гравітаційного розділення, розрахунки та експериментальне визначення швидкості руху частинок у вільних і обмежених умовах, статистичний аналіз їх аеродинамічних характеристик показали, що залежність швидкості витання у вільних умовах від розміру частинок має вигляд логарифмічної функції. Експериментальні значення швидкості нижче розрахункових, що зв'язано з неврахованою взаємодією при зіткненнях частинок. При збільшенні розпушеності швидкість витання росте і наближається до швидкості, одержаної для вільних умов. Звідси витікає, що для забезпечення певної

потужності сепарації при високій якості продуктів слід підтримувати раціональну розпушеність матеріалу.

Третій розділ присвячений вирішенню четвертої задачі досліджень - розробці моделі процесу пневмовібраційної сепарації і дослідженню впливу розпушеності матеріалу на параметри переміщення частинок за допомогою чисельного моделювання, виконаного з використанням пакету комп'ютерних програм на базі методу дискретних елементів. Розрахунки базувались на законах механіки: законі Гука і другому і третьому законах Ньютона. Розмір частинок задавався радіусами R_1 і R_2 , елементи переміщуються під дією сил F_1 і F_2 . При зіткненнях частинок виникає їх обертання за рахунок дії моментів M_1 і M_2 . Взаємодія розглядається в системі координат X - Y (рис. 2). Відстань між центрами ваги елементів D при їх взаємодії змінюється на величину Δl .

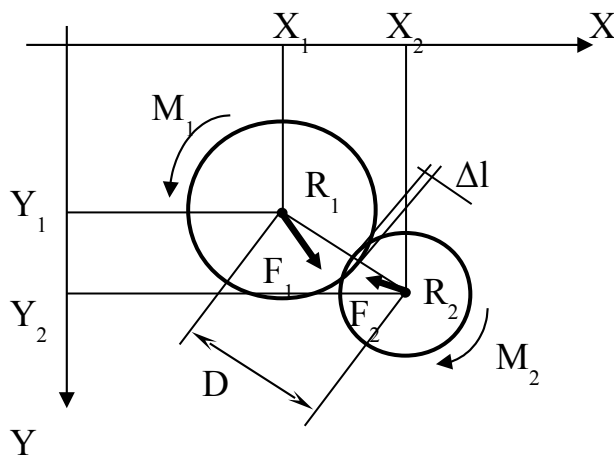


Рис. 2. Модель взаємодії частинок при розділенні.

Переміщення частинок розглядаються в дискретні періоди часу (цикли розрахунку). В межах кожного циклу координати центрів ваги частинок, швидкості і сили є постійними. При переході до наступного відрізка часу ці параметри перераховувались. Одержані результати наводилися в графічному або числовому вигляді та в вигляді анімацій на моніторі.

На рис. 3 наведений початковий стан моделі при $m=0,3$ і з плином часу процесу сепарації T , що відповідає певним циклам розрахунків N (світло-сірі частинки - алюмінієві, темно-сірі - гумові).

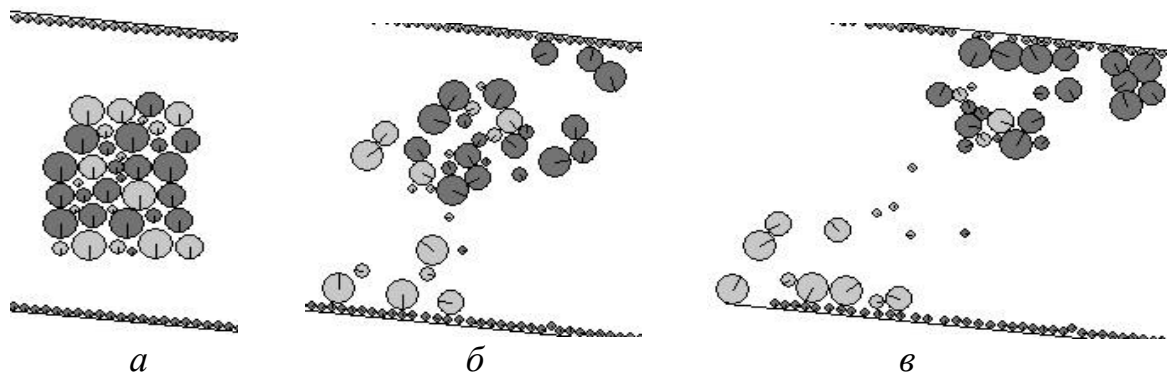


Рис. 3. Початковий стан моделі (а) та з часом T (б, в):
 $a - T=0$ с, $N=0$, б - $T=3,75$ с, $N=750000$, в - $T=7,5$ с, $N=1500000$.

За результатами моделювання і їх обробки одержані графічні залежності швидкостей і прискорень частинок від розпушеності (рис. 4). Графіки на рис. 4 свідчать про те, що швидкість частинок різко змінюється при зіткненнях (точки А, В, С). Проте, число таких зіткнень при високій розпушеності ($m=0,9$) невелике. Значну частину часу частинки рухаються з швидкістю, що монотонно змінюється, за рахунок дії висхідного потоку повітря (ділянка DF, фрагмент праворуч). Після зіткнення частинка рухається вільно деякий час (ділянка DE).

На рис. 5 показано зміну прискорень частинок при високій і низькій розпушеності.

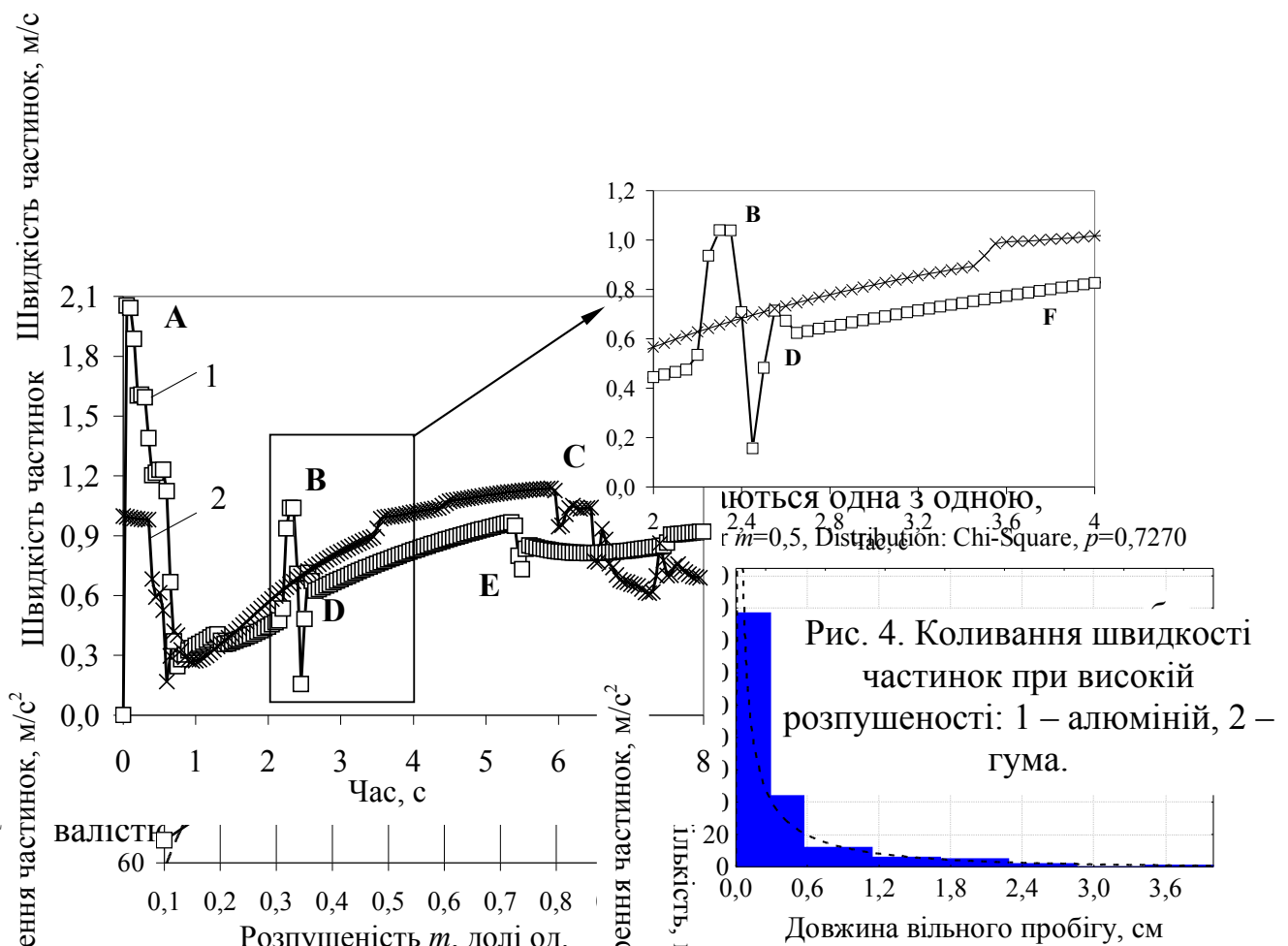
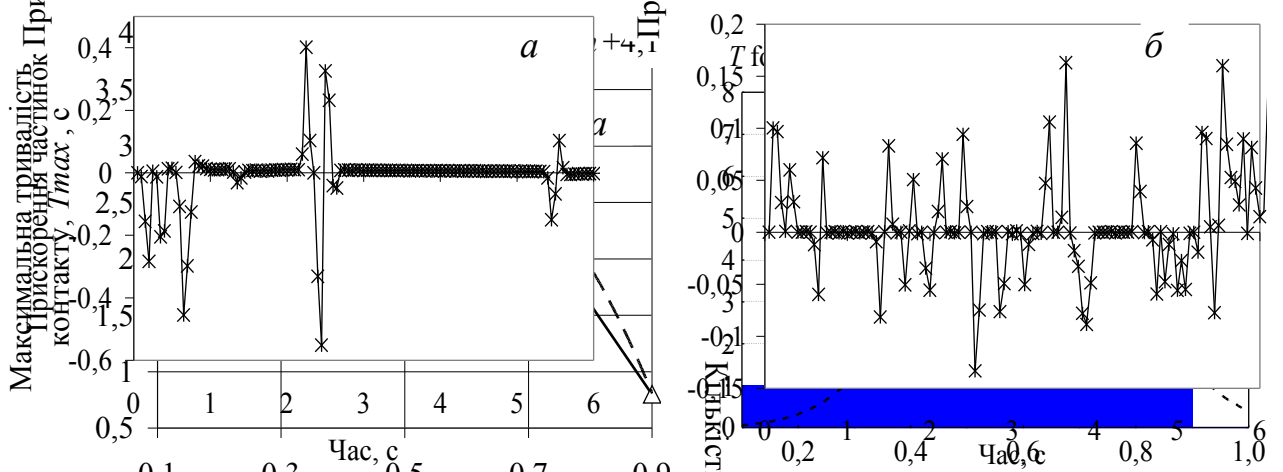


Рис. 6. Сумарна довжина вільного обігу (а) і її статистична оцінка (б).



Статистичний аналіз показав, що для довжини вільного пробігу характерне переважання невисоких значень цього параметра при будь-якій розпушеності, тобто частинки рухаються без зіткнень в невеликих об'ємах простору. При високій розпушеності більшість значень не перевищує 0,5, а при низькій - 0,2 см. Проте, при підвищенні розпушеності матеріалу знижується продуктивність пневмовібраційного сепаратора.

Тривалість контакту частинок при зіткненнях підкоряється нормальному закону розподілу (рис. 7). При високій розпушеності найбільше число значень тривалості контакту знаходиться в інтервалі 0,5...0,7 с, при низькій - 2,8...3,4 с.

Із графічних залежностей витікає, що раціональний режим розділення визначається співвідношенням питомих значень довжини вільного пробігу частинок L_u та тривалості їх контакту T_u (рис. 8). Питомі значення визначались як співвідношення сумарних величин до кількості частинок, які знаходяться в сепараторі при моделюванні. Для цих параметрів одержані відповідні залежності від розпушеності:

$$T_u = -4,0635 m^2 + 1,0879m + 2,9089; \quad R^2 = 0,9986. \quad (3)$$

$$L_u = -1,0518m^2 + 4,1673m + 1,5071; \quad R^2 = 0,8741. \quad (4)$$

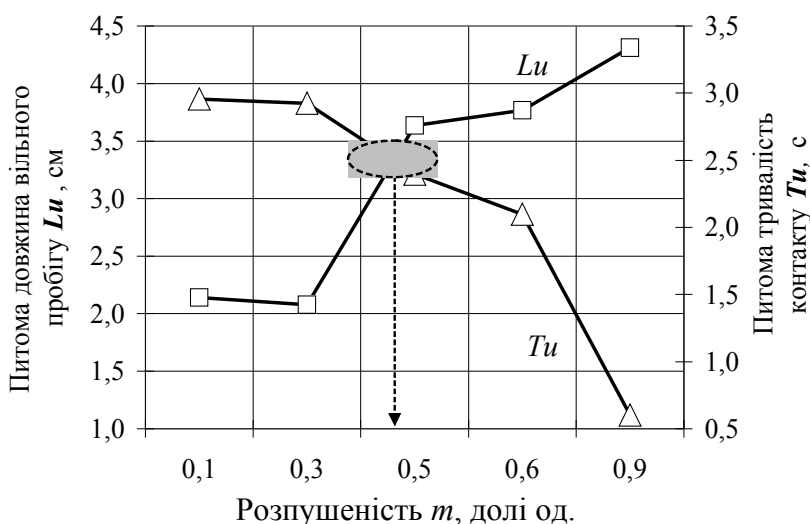


Рис. 8. Вплив розпушеності матеріалу на питому довжину вільного пробігу частинок і питому тривалість їх взаємодії.

З графічних залежностей (рис. 8) витікає, що зниження питомої тривалості контакту частинок T_u і підвищення питомої довжини їх вільного пробігу L_u починається з розпушеності $m=0,3...0,5$. Отже, при $m=0,3...0,5$ досягається поліпшення результатів розділення матеріалу без істотного зниження продуктивності сепаратора.

Проведене чисельне моделювання показало, що найбільші значення величини вільного пробігу частинок відповідають розпушеності $m=0,5...0,6$, а сумарна довжина вільного пробігу знаходиться в логарифмічній залежності

від розпушеності (рис. 6), що дозволяє регулювати параметри процесу розділення шляхом варіації навантаження на сепаратор. Встановлено, що максимальна тривалість контакту частинок при зіткненнях в робочому об'ємі сепаратора зменшується із збільшенням розпушеності по кубічній залежності (рис. 7), що дає можливість визначати раціональну розпушеність матеріалу без збільшення тривалості процесу. При порівнянні питомих значень довжини вільного пробігу частинок і тривалості їх взаємодії при зіткненнях (рис. 8) визначена раціональна розпушеність матеріалу $m=0,3...0,5$.

Четвертий розділ присвячений вирішенню п'ятої задачі дослідження, а саме, дослідженню параметрів пневмовібраційної сепарації в лабораторних і напівпромислових умовах і розробці технологічних режимів розділення. Створено лабораторну модель пневмовібраційного сепаратора (рис. 9).

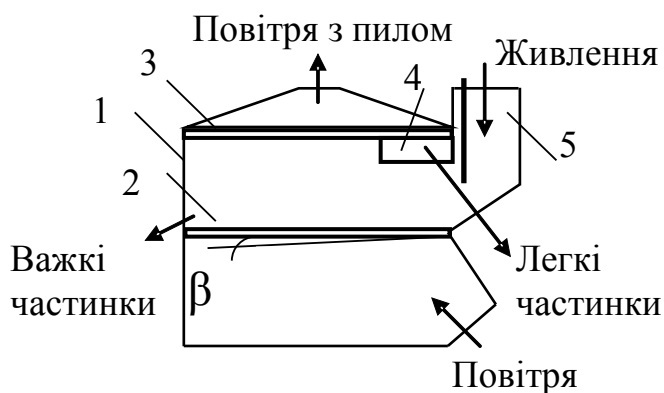


Рис. 9. Схема лабораторної моделі пневмовібраційного сепаратора: 1 – робоча камера; 2 – нижнє сито; 3 – верхнє сито; 4 – розподільна площа та вікна для розвантаження легкої фракції; 5 – бункер.

Експериментально встановлено, що на розшарування частинок впливає струшуюча дія приводу сепаратора, і режим розділення визначається кутовою швидкістю, при якій важкі частинки підкидаються на нижнєму ситі. З розгляду сил, діючих на частинки (рис. 10), визначена необхідна швидкість обертання приводу сепаратора ω_n :

$$\omega_n > [(d g \delta \cos \beta - 0.5 V_e^2 \Delta) / d \delta A \sin (\alpha - \beta)]^{1/2}, \quad (5)$$

де d – діаметр частинки, δ – густина матеріалу частинки, β – кут нахилу сита сепаратора до горизонту, α – кут, під яким діє збуджуюча сила, A – амплітуда коливань.

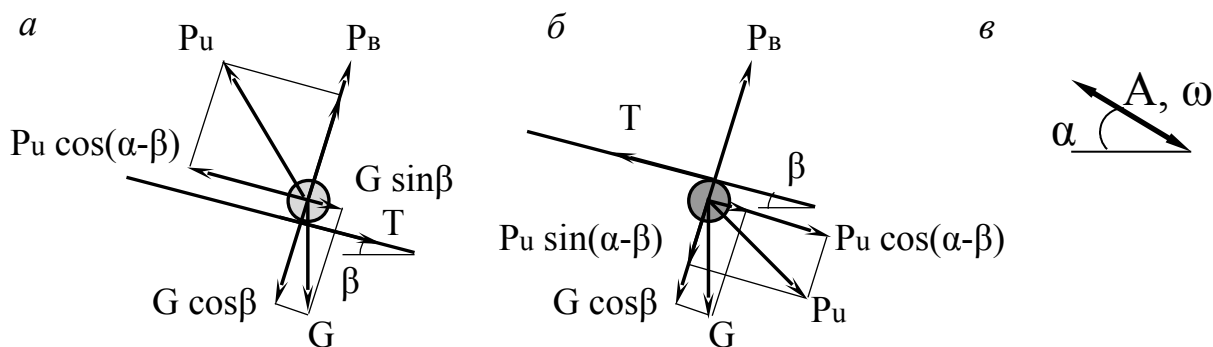


Рис. 10. Схема сил, що діють на важкі (а) і легкі (б) частинки, та напрям дії збуджуючої сили (в): G – сила ваги, P_u – сила інерції, P_B – сила, яка обумовлена тиском повітря, T – сила тертя, β – кут нахилу сита сепаратора до горизонту, α – кут, під яким діє збуджуюча сила, A – амплітуда коливань, ω – кутова швидкість.

Дослідження впливу розпушеності на показники розділення проводилися з пробою відходів лому (алюміній і гумова ізоляція) крупністю 1,25-5 мм. Результати сепарації сумішей з розпушеністю, що дорівнювала прийнятій при комп'ютерному моделюванні, показали високу ефективність розділення алюмінію і гуми у лабораторних умовах $E = 94,3 \pm 2,28$ %. Експериментальна залежність вилучення ε алюмінієвих частинок у важкий продукт від розпушеності порівнена з логістичною кривою (рис. 11), для якої підібрана емпірична залежність: $\varepsilon = 1 / (1 + e^{-10m + 5})$.

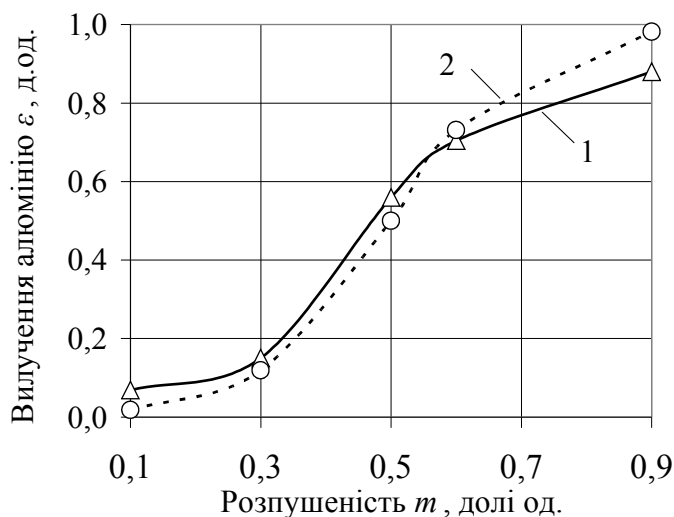


Рис. 11. Зіставлення даних експерименту з логістичною кривою розділення:
1 – експеримент,
2 – за логістичною кривою.

Для отримання математичної моделі процесу пневмовібраційної сепарації алюмінієвих і гумових частинок виконана серія експериментів стосовно матриці центрального композиційного рототабельного плану. Розпушеність шару матеріалу в сепараторі визначається витратою повітря X_1 , амплітудою коливань X_2 і навантаженням на сепаратор X_3 . Прийнятий ще один чинник X_4 – кут нахилу сепаратора. За функцію відгуку прийнята ефективність сепарації за Ханкоком-Луйкеном (%).

Статистична обробка результатів і розрахунок коефіцієнтів регресії виконувалися за допомогою пакету програм STATISTICA. З урахуванням значущості коефіцієнтів моделі, визначеної по Парето-діаграмі при 5% рівні значущості, регресійна модель одержана у вигляді полінома:

$$E = 84,525 + 1,1542X_1 + 0,4958X_2 - 1,0208X_3 + 0,2406X_1^2 - 0,3562X_2X_3. \quad (4)$$

Поверхні відгуку в різних координатах показані на рис. 12.

Аналіз поверхонь відгуку і ізоліній моделі підтвердив визначальне значення розпушеності матеріалу для ефективності розділення, оскільки і питома витрата повітря, і навантаження на сепаратор безпосередньо впливають на цей параметр. Вплив амплітуди коливань менш значущий в порівнянні з першими двома параметрами.

Експериментальні дослідження в лабораторних і напівпромислових умовах підтвердили ефективність визначеного раціонального режиму ведення процесу при раціональній розпушеності, що дозволяє знизити втрати металу з відходами та забезпечує високу ефективність розділення частинок алюмінію і гуми. Створено лабораторну модель пневмовібраційного сепаратора для розділення дробленого лому кабельно-провідникової продукції та напівпромисловий зразок сепаратора, проведено випробування режиму розділення, в ході яких досягнуто вилучення металу у концентрат 90-95%.

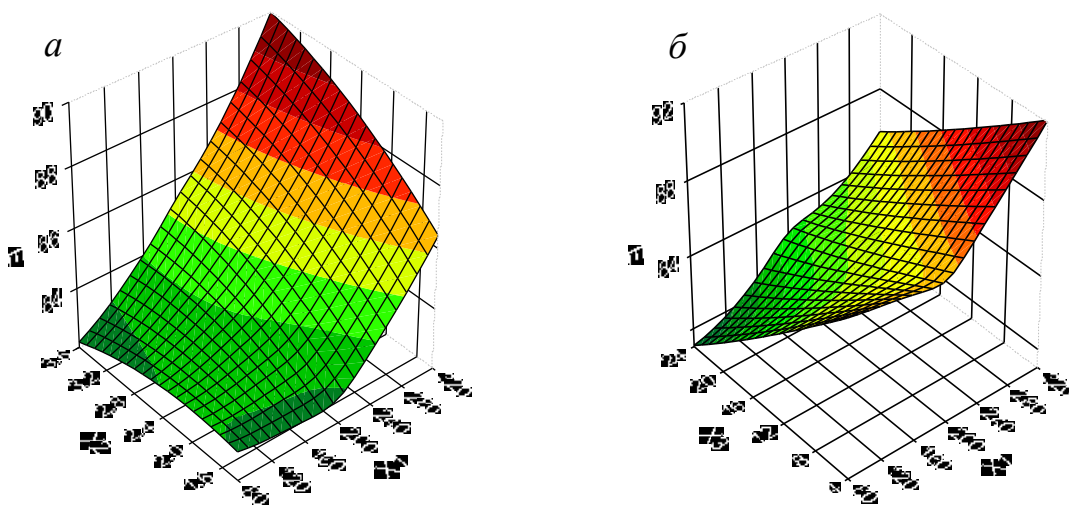


Рисунок 12. Поверхні відгуку в координатах: *a* – X_1 (витрати повітря), X_2 (амплітуда коливань); *б* – X_1 (витрати повітря), X_3 (навантаження на сепаратор).

Розроблена методика дозволила розробити рекомендації до створення технології пневмовібраційної сепарації в промислових умовах. Очікуваний економічний ефект від упровадження однієї установки пневмовібраційної сепарації складає 60 тис. грн.

ВИСНОВКИ

У дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, поставлена та вирішена актуальна наукова задача виявлення основних залежностей параметрів режиму розділення лому кабельно-провідникової продукції при пневмовібраційній сепарації від розпушеності матеріалу шляхом встановлення нових закономірностей переміщення частинок лому в робочому просторі сепаратора і визначення на їх основі раціональних технологічних параметрів ведення процесу, що дозволяє знизити втрати металу з відходами та забезпечує високу ефективність розділення частинок алюмінію і гуми.

Найважливіші наукові та практичні результати, висновки і рекомендації:

1. Аналіз сучасного стану пневмовібраційної сепарації лому кабельно-провідникової продукції виявив необхідність визначення раціональної розпушеності шару частинок, від якої залежать параметри їх руху і взаємодії при пневмовібраційній сепарації. Звідси витікає, що для підвищення ефективності сепарації лому необхідно дослідити розподіл частинок по крупності, їх аеродинамічні характеристики, кінетику взаємодії і вплив інших факторів на показники розділення.

2. Дослідження лому кабельно-провідникової продукції як об'єкту гравітаційного збагачення показало, що при дробленні в ножовій дробарці метали зосереджені в класі 2,5-5 мм, ізоляційні матеріали - в класі 2,5-10 мм, що визначає особливості технології їх сепарації.

3. Встановлено, що залежність розрахункової швидкості витання від розміру частинок описується логарифмічною функцією. Розрахункові швидкості витання у вільних умовах частинок перевищують експериментальні на 5-17%, для сферичних частинок відмінність незначна - не більш 7%. Швидкість витання частинок в обмежених умовах, що одержана експериментально, нижча за розрахункову, що зв'язане з неврахованою взаємодією їх при зіткненнях. Дані, одержані в ході експериментів, прийняті при налагодженні комп'ютерної моделі.

4. В ході імітаційного моделювання одержано, що при високій розпушеності ($m=0,9$) більшу частину часу частинки рухаються без зіткнень, оскільки графіки прискорення мають значні горизонтальні ділянки. При ущільненому розташуванні частинок на графіках прискорення відсутні горизонтальні ділянки, коли прискорення не змінюється, тобто частинки часто стикаються одна з однією, що змінює швидкість по величині і напрямку.

Статистичні дослідження показали, що розподіл значень довжини вільного пробігу частинок підкоряється розподілу Пірсона при будь-якій розпушеності, значить частинки рухаються без зіткнень в невеликих об'ємах простору. При високій розпушеності більшість значень тривалості контакту частинок при зіткненнях знаходиться в інтервалі 0,5-0,7 с, при низькій - від

2,8 до 3,4 с. Одержані дані свідчать про визначальну роль розпушеності для досягнення високих технологічних показників пневмовібраційної сепарації.

5. Зниження питомої тривалості контакту і підвищення питомої довжини вільного пробігу частинок починається із значення розпушеності $m=0,3\dots0,5$. Значення розпушеності рівне 0,4 відповідає початку зміни цих параметрів, коли можна одержати прийнятні результати сепарації матеріалу без істотного зниження продуктивності сепаратора.

6. Аналіз сил, діючих на легкі і важкі частинки, виконаний на створеній лабораторній моделі та напівпромисловій установці, дозволив визначити, що режим розділення залежить від кутової швидкості, при якій забезпечується підкидання важких частинок на нижньому ситі сепаратора. Одержані параметри робочого режиму установки, при яких досягається ефективно розділення лому з вилученням алюмінію у важкий продукт 96-99% і гуми в легкий 90-99%.

7. Для логістичної кривої, що визначає вплив розпушеності матеріалу m на вилучення частинок алюмінію у важкий продукт ε , встановлена емпірична

залежність: $\varepsilon = 1 / (1 + e^{-10 m + 5})$ і виконане її зіставлення з експериментальними даними. Експерименти підтверджують теоретично одержаний висновок про те, що раціональний діапазон зміни розпушеності починається з інтервалу 0,3...0,5, оскільки ці значення відповідають рівноімовірному попаданню частинок в продукти розділення.

8. Одержана модель процесу у вигляді залежності ефективності розділення від основних параметрів: $E = 84,525 + 1,1542X_1 + 0,4958X_2 - 1,0208X_3 + 0,2406X_1^2 - 0,3562X_2X_3$. Аналіз поверхонь відгуку і ізоліній моделі свідчить про визначальне значення розпушеності матеріалу для ефективності розділення, оскільки і питома витрата повітря і навантаження на сепаратор безпосередньо впливають на цей параметр. Вплив амплітуди коливань менш значущий в порівнянні з першими двома параметрами.

9. Напівпромислові випробування на стендовій установці підтвердили ефективність розробленого режиму розділення компонентів. Очікуваний економічний ефект від упровадження однієї установки пневмовібраційної сепарації складає 60 тис. грн.

Основні положення та результати дисертації опубліковані в таких роботах:

1. Сухин Н.В. Применение вибрационного пневматического сепаратора при разделении лома цветных металлов / Н.В. Сухин, А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко // Обогащение полезных ископаемых: науч.-техн. сб. - №20(61) – Дн-ск: НГУ. - 2004 – С. 77-83.

2. Корчевский А.Н. Моделирование процесса сухой сепарации материалов. Настройка модели. / А.Н. Корчевский // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. - №23(64) – Дн-ськ: НГУ. - 2005 - С. 113-119.

3. Корчевский А.Н. Определение рациональных режимов вибропневматической сепарации лома цветных металлов / А.Н. Корчевский // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. - №25(66)-26(67) – Дн-ськ: НГУ. - 2006 – С. 121-125.

4. Корчевский А.Н. Исследование свойств лома цветных металлов как объекта обогащения / А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко, С.С. Апоначенко // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць. – Вип.16 – Кривий Ріг: КТУ. - 2007 – С. 68-71.

5. Назимко Е.И. Исследование скорости движения частиц лома цветных металлов в восходящем потоке / Е.И. Назимко, А.Н. Корчевский, С.С. Апоначенко // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. - №29(70)-30(71) – Дн-ськ: НГУ. – 2007 – С. 135-140.

6. Корчевский А.Н. Исследование условий разделения лома цветных металлов гравитационными методами / А.Н. Корчевский // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Вип. 15(131), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2008. – С. 98-104.

7. Корчевский А.Н. Влияние разрыхленности слоя материала на показатели пневматической сепарации лома цветных металлов / А.Н. Корчевский // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. - №33(74) – Дн-ськ, НГУ. - 2008 – С. 106-111.

8. Корчевский А.Н. Моделирование сепарации лома цветных металлов в воздушной среде / А.Н. Корчевский // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. - 38(79) – Дн-ськ: НГУ. – 2009 - С. 118-126.

9. Корчевский А.Н. Моделирование процесса пневматического разделения лома цветных металлов / А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць. – Вип. 21. – Кривий Ріг: КТУ – 2008. - С. 62-66.

10. Корчевский А.Н. Патент Украины, МКИ В07В1/40, В07В1/100. Вібраційний грохот / А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко, А.И. Хохотва, Е.Е. Гарковенко, А.И. Егурнов. (Украина). – 4с. ил.; Опубл. 15.08.2005, Бюл. №8.

11. Корчевский А.Н. Патент Украины, МКИ В07В4/00. Вібраційний сепаратор для розділення сипких матеріалів / А.Н. Корчевский, Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, А.И. Хохотва (Украина). – 4с., ил.; Опубл. 10.03.2010, Бюл. №5.

12. Букин С.Л. Разделение лома цветных и редких металлов на концентрационном столе с бигармоническим вибровозбудителем / С.Л. Букин, В.Н. Бредихин, А.Н. Корчевский // Совершенствование технологии и оборудования по переработке лома и отходов, содержащих драгоценные металлы. Материалы IV н-т конференции 16-18 апреля 1996 г. Донецк. – ДонИЦМ, 1996. – С. 17-20.

13. Nazimko L.I. Kinetics of Phases Interaction during Mineral Processing Simulation / L.I. Nazimko, E.E. Garkovenko, A.N. Corchevsky, I.N. Druts // *Proceedings of XV International Congress of Coal Preparation. China. 2006. p. 785-798.*

14. Корчевский А.Н. Исследование скорости движения частиц лома цветных металлов в стесненных условиях / А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко, С.С. Апоначенко // *Мат. межд. н-т. конф. Форум гірників 2007*, 11-13 жовтня, м. Дніпропетровськ, С. 258-264.

15. Nazimko O.I. Simulation of the Coal and Rock Particle Interaction Kinetics During the Dry Separation / O.I. Nazimko, E.E. Garkovenko, A.N. Corchevsky et al // *Proceedings of XVI International Congress of Coal Preparation. USA. 2010. p. 581-586.*

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві:

[1] - проектування лабораторної установки сепаратора, дослідження і розрахунок показників збагачення; [4, 5] - постановка наукової задачі та цілі дослідження властивостей лому як об'єкту збагачення; [9, 10] - розробка ідеї вдосконалення робочої поверхні грохоту та сепаратора; [11] - виконання експериментальних досліджень; [12, 13, 15] - виконання імітаційних експериментів, обробка і аналіз результатів; [14] - визначення раціонального режиму ведення процесу залежно від розпушеності.

АНОТАЦІЯ

Корчевський О.М. Пневмовібраційна сепарація лому кабельно-провідникової продукції. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.08. - Збагачення корисних копалин. - Національний гірничий університет, Міністерство освіти і науки України, Дніпропетровськ, 2010.

У дисертації вирішена актуальна наукова задача виявлення основних залежностей параметрів режиму розділення лому кабельно-провідникової продукції при пневмовібраційній сепарації від розпушеності матеріалу шляхом встановлення нових закономірностей переміщення частинок лому в робочому просторі сепаратора і визначення на їх основі раціональних технологічних параметрів ведення процесу, що дозволяє знизити втрати металу з відходами та забезпечує високу ефективність розділення частинок алюмінію і гуми..

Науково обґрунтована та удосконалена технологія пневмовібраційної сепарації лому кабельно-провідникової продукції на базі визначення раціонального діапазону зміни розпушеності матеріалу за допомогою моделювання процесу та експериментальних досліджень.

Результати роботи впроваджені в ДонНДІКМ, напівпромислові випробування підтвердили ефективність розробленого режиму, очікуваний економічний ефект складає 60 тис. грн.

Ключові слова: кабельно-провідникова продукція, відходи, пневмовібраційна сепарація, розпушеність, рух, взаємодія частинок, технологія, вилучення металу.

АННОТАЦІЯ

Корчевский А.Н. Пневмовибрационная сепарация лома кабельно-проводниковой продукции. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.08 - Обогащение полезных ископаемых. Национальный горный университет Министерства образования и науки Украины. - Днепропетровск, 2010.

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой поставлена и решена актуальная научная задача обоснования и совершенствования технологии пневмовибрационной сепарации лома кабельно-проводниковой продукции путем установления новых закономерностей перемещения частиц лома в рабочем пространстве сепаратора и определения на их основе зависимостей показателей разделения от разрыхленности слоя материала и рациональных технологических параметров ведения процесса, что позволяет снизить потери металла с отходами и обеспечивает высокую эффективность разделения частиц алюминия и резины.

Целью работы является научное обоснование и совершенствование принципиальных положений технологии пневмовибрационной сепарации лома кабельно-проводниковой продукции, основанной на действии восходящих потоков воздуха. Идея работы заключается в использовании разрыхленности слоя материала как управляющего воздействия на параметры перемещения частиц в рабочем пространстве пневмовибрационного сепаратора.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решены следующие задачи: исследование свойств лома кабельно-проводниковой продукции, имеющих значение при гравитационном обогащении сухими методами; исследование скорости движения частиц лома в свободных и стесненных условиях; экспериментальное определение аэродинамических характеристик частиц; разработка модели сепарации и исследование влияния разрыхленности слоя материала на параметры перемещения частиц; исследование параметров процесса в лабораторных и полупромышленных условиях и разработка технологических режимов разделения.

Для решения поставленных задач использовались современные методы научных исследований: экспериментальные исследования влияния аэродинамических характеристик частиц лома на эффективность извлечения ценных компонентов; численные методы для изучения параметров перемещения частиц при разделении в восходящей струе воздуха на основе метода дискретных элементов; методы математической статистики для оценки достоверности полученных регрессионных зависимостей.

Проанализированы основные направления исследований и развития пневмовибрационной сепарации сыпучих материалов, связанные с использованием псевдооживленного слоя материала в сепараторе. Анализ выявил необходимость установления рациональной разрыхленности слоя

частиц, что определяет параметры их движения и взаимодействия при разделении. Отсюда вытекает, что для повышения эффективности сепарации лома кабельно-проводниковой продукции необходимо исследовать распределение части по крупности, их аэродинамические характеристики, кинетику взаимодействия и влияние других параметров на показатели разделения. Новые научные результаты определяют рациональные режимы сепарации, а также конструкции машин с высокими технологическими показателями и производительностью.

Научное значение работы заключается в установлении закономерностей перемещения частиц лома в рабочем пространстве сепаратора в зависимости от разрыхленности и определении на их основе рациональных технологических параметров ведения процесса.

Практическое значение работы состоит в разработке лабораторной и полупромышленной установки пневмовибрационного сепаратора, обосновании режима сепарации для частиц лома, в положительных результатах полупромышленных испытаний технологии при высоком извлечении частиц алюминия в тяжелый продукт.

Основные результаты исследований опубликованы в 9 статьях в научных изданиях, утвержденных ВАК Украины, 1 патенте, прошли апробацию на двух международных конференциях.

Предложенные автором практические рекомендации успешно испытаны в полупромышленных условиях. Ожидаемый экономический эффект от внедрения одной установки составляет 60 тыс. грн.

Ключевые слова: кабельно-проводниковая продукция, отходы, пневмовибрационная сепарация, разрыхленность материала, перемещение, взаимодействие частиц, технология, извлечение металла.

ABSTRACT

Korchevsky A.N. Vibration-pneumatic separation of cable-explorer products crow-bar. – Manuscript.

Kandidat thesis (engineering) according specialty 05.15.08 - Mineral Processing. National Mining University, Ministry of education and science of Ukraine, Dnepropetrovsk, 2010.

Dissertation is devoted to the decision of actual scientific and technical task of ground of the mode of division of crow-bar of cable-explorer products at vibration-pneumatic dry separation. It was found that efficiency of particles separation depends on the material layer dilation in the working space of a separator. Optimum range of dilation has been found. On this basis dependences of results of separation from material dilation and rational parameters of process was determined.

The scientific value of this work consists of opening the influence of particles move and co-operation parameters of cable-explorer products crow-bar in working space of vibration-pneumatic separator depending on material dilation.

The rational range of dilation change is scientifically grounded, the model of vibration-pneumatic separation is got. On the base of model rational parameters and technological modes of process are determined. The results of this investigation were inculcated in DonNIICM. The stand tests confirmed technological mode efficiency. A possible economic effect makes a 60 thousand of UAH.

Keywords: cable-explorer products, crow-bar, wastes, air separation, dilation of material, particle's motion and co-operations, vibration-pneumatic separator, technology.

Корчевський Олександр Миколайович

УДК 622.767

**ПНЕВМОВІБРАЦІЙНА СЕПАРАЦІЯ ЛОМУ КАБЕЛЬНО-
ПРОВІДНИКОВОЇ ПРОДУКЦІЇ**

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.08 –
Збагачення корисних копалин

Підписано до друку 13.10.2010 . Формат 60x84 1/8
Папір офсетний. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 0,9