

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ПОЛУЛЯХ ДАНИЛО ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 622.742

**ТРИБОВІБРОГРАВІТАЦІЙНА СЕПАРАЦІЯ
КАМ'ЯНОГО ВУГІЛЛЯ**

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 Національного гірничого університету (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України **Пілов Петро Іванович**, завідувач кафедри збагачення корисних копалин Національного гірничого університету (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор **Назимко Олена Іванівна**, завідувач кафедри збагачення корисних копалин Донецького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України;

- кандидат технічних наук **Шевченко Олександр Іванович**, старший науковий співробітник відділу механіки машин і процесів інституту Геотехнічної механіки НАН України (м. Дніпропетровськ).

Захист відбудеться 26 листопада 2010 р. 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: 49027, м. Дніпропетровськ, проспект К. Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, проспект К. Маркса, 19.

Автореферат розісланий " 23 " жовтня 2010 р.

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

В.В. Панченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Одним із напрямів збільшення виробництва палива є його вилучення із вуглевміщуючих матеріалів, під якими розуміються високозольне крупно-куськове рядове вугілля, шахтна порода, відходи та промпродукт вуглезбагачувальних фабрик. Відомо, що шахтами України кожний рік складається у породних відвалах біля 20 млн. т породи з вмістом вугільних фракцій до 24%, збагачувальними фабриками - до 27 млн. т з зольністю 76,2%, промпродукта - 0,5 млн. т з зольністю до 40%. В зв'язку з цим необхідність обґрунтування і розробка економічно доцільних технічних рішень щодо вилучення палива з вуглевміщуючих матеріалів, які не приводять до зміни технології гірничих робіт і технологій збагачення обумовлює **актуальність роботи**.

В цьому сенсі, перспективним напрямом рішення вказаної задачі є застосування сухих методів збагачення й, в першу чергу, збагачення за тертям та формою. Ці методи не потребують використання води і стислого повітря як розподільчого середовища, що дозволяє запобігати великих витрат на утримання водно-шламового або пилоутримуючого господарства. Однак, відомі роботи щодо збагачення за тертям та формою недостатньо висвітлюють закономірності цих процесів, не вказують напрями їх інтенсифікації, мають, у більшості випадків, практичний характер та низьку ефективність через малу контрастність фізико-механічних властивостей часток матеріалу.

У зв'язку з цим в дисертаційній роботі вирішується **наукова задача**, яка полягає у встановленні залежностей підвищення розподільчої здібності породних та вугільних часток від параметрів віброзбудження у мить контакту з нахиленою пружною поверхнею, що рухається догори, на підставі яких обґрунтована конструкція трибовіброгравітаційного сепаратора і розроблена технологія трибовіброгравітаційної сепарації рядового вугілля та відходів його видобутку і переробки, впровадження котрих дозволить збільшити випуск енергетичного концентрату за рахунок зниження втрат паливної маси з відходами виробництва.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Базовими для підготовки дисертаційних досліджень є науково-дослідні роботи, виконані у відповідності до планів Національного гірничого університету і ДП «Укрндівуглезбагачення»: «Екологічна чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології» (2005 рік, № держреєстрації 0100U001808), «Дослідження режимів мокрої гвинтової сепарації (МГС) шламових продуктів ЦЗФ «Антрацит» (2006 рік, № держреєстрації 0106U011009), «Розробити технологію та устаткування для витягнення паливного продукту з відвальної шахтної породи поточного виробництва (2008 рік, № держреєстрації 0108U003317), «Виконати аналіз техніки і технології ЦЗФ «Чумаківська» і розробити рекомендації щодо

удосконалення її технології та апаратурного обладнання з метою збільшення виходу концентрату» (2003 рік, № держреєстрації 0103U002751). Автор дисертаційних досліджень брав безпосередню участь у виконанні науково-дослідних робіт як відповідальний виконавець.

Мета, ідея і задачі дослідження.

Мета роботи – теоретичне обґрунтування технічних рішень щодо вилучення вугільного палива із рядового вугілля і відходів його видобутку та переробки методом трибовіброгравітаційної сепарації.

Ідея роботи – підвищення селективності сухої трибовіброгравітаційної сепарації вуглевміщуючих матеріалів шляхом збільшення контрастності фізико-механічних властивостей вугільних і породних часток за рахунок накладання на них віброзбудження у мить контакту з нахиленою пружною поверхнею, яка рухається догори.

Для досягнення зазначеної мети в дисертації були поставлені і вирішені наступні задачі:

1) аналіз відомих методів і обґрунтування перспективних підходів щодо підвищення селективності сухих методів збагачення кам'яного вугілля і відходів його видобутку та переробки;

2) теоретичне обґрунтування основних параметрів розподілу за щільністю вуглевміщуючих матеріалів на трибовіброгравітаційному сепараторі;

3) визначення фізико-механічних властивостей кам'яного вугілля і відходів його видобутку та переробки, як об'єктів збагачення трибовіброгравітаційною сепарацією;

4) встановлення зв'язку між ефективністю збагачення з параметрами стрічкового трибовіброгравітаційного сепаратора з урахуванням фізико-механічних властивостей вихідного матеріалу;

5) розробка технології трибовіброгравітаційної сепарації кам'яного вугілля і відходів його видобутку та переробки з метою вилучення з них додаткового енергетичного палива.

Об'єкт досліджень – процеси збагачення кам'яного вугілля за тертям, формою та пружністю.

Предмет досліджень - процес трибовіброгравітаційної сепарації кам'яного вугілля.

Методи досліджень: наукове узагальнення та систематизація - для визначення сучасного рівня та шляхів підвищення селективності трибовіброгравітаційної сепарації кам'яного вугілля; аналітичний – для обґрунтування умов розподілу за щільністю вуглевміщуючих матеріалів на стрічковому трибовіброгравітаційному сепараторі; експериментальний – для встановлення зв'язку ефективності збагачення з технологічними, конструктивними і динамічними параметрами стрічкового трибовіброгравітаційного сепаратора і визначення їх раціона-

льних значень; математичної статистики – для обробки результатів експериментів; лабораторна та дослідно-промислова апробація – для перевірки розроблених технологічних рішень і визначення їх ефективності.

Наукові положення, які захищаються у дисертації:

1) розподільча здібність кам'яного вугілля та породи до сепарації за тертям, формою та пружністю на нахиленій пружній поверхні, яка рухається догори, збільшується накладанням на неї вібрацій у зоні контакту з матеріалом, що сепарується.

2) параметри віброзбудження для досягнення максимального ефекту сепарації підбираються в залежності від крупності, щільності та вологості матеріалу, що сепарується, таким чином, щоб кут нахилу робочої поверхні, при якому здійснюється перекатування породних часток, був не менш як у 2 рази більше, ніж для вугільних.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

1) вперше визначена динаміка підвищення контрастності уявних коефіцієнтів тертя часток вугілля і породи на стрічковому трибосепараторі шляхом накладання на них віброзбудження у мить контакту з робочою поверхнею, що дозволило розробити новий спосіб трибовіброгравітаційної сепарації кам'яного вугілля і відходів його видобутку та переробки;

2) вперше встановлені залежності уявних коефіцієнтів тертя вугільних, промпродуктових і породних часток на пружній рухомій догори поверхні від їх крупності і форми, що дозволило визначити кути нахилу трибовіброгравітаційного сепаратора і обґрунтувати доцільність обмеження діапазонів крупності машинних класів вихідного матеріалу;

3) встановлені нові відомості впливу віброзбудження на уявні коефіцієнти тертя вугільних, промпродуктових і породних часток, які дозволяють здійснити вибір параметрів коливань робочої поверхні з урахуванням коефіцієнту форми часток матеріалу, що збагачується;

4) вперше встановлені залежності ефективності збагачення від технологічних, конструктивних і динамічних параметрів стрічкового трибовіброгравітаційного сепаратора, що дозволило розробити технологію трибовіброгравітаційної сепарації кам'яного вугілля і відходів його видобутку та переробки.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці:

1) технічного завдання на створення сепаратора для збагачення кам'яного вугілля і розробці конструкторської документації експериментального зразка стрічкового трибовіброгравітаційного сепаратора ТСЛ-6,0;

2) методики визначення раціональних параметрів технології трибовіброгравітаційної сепарації;

3) технологічних схем трибовіброгравітаційної сепарації вуглевміщуючих матеріалів.

Впровадження результатів роботи.

Запропоновані технологічні схеми трибовіброгравітаційної сепарації крупно-кускового рядового вугілля шахти «Відродження», відвальної породи шахти «Бужанська», крупних відходів ЦЗФ «Добропільська», крупного промпродукту ЦЗФ «Пролетарська» використані ДП «Укрндівуглезбагачення» у розробках рекомендацій щодо вилучення додаткового палива з вуглевміщуючих матеріалів. Очікуваний загальний розрахунковий економічний ефект від впровадження цих технологій складає 24,8 млн. грн.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети, задач дослідження, наукових положень, проведенні теоретичних і експериментальних досліджень, обґрунтуванні параметрів стрічкового трибовіброгравітаційного сепаратора ТСЛ-6,0 і розробці технологічних схем трибовіброгравітаційної сепарації кам'яного вугілля і відходів його видобутку та переробки.

Апробація результатів роботи. Матеріали дисертації доповідались та отримали схвалення на наукових семінарах кафедри збагачення корисних копалин Національного гірничого університету (м. Дніпропетровськ, 2006-2009 р.р.), засіданні вченої ради ДП «Укрндівуглезбагачення» (м. Луганськ, 2005-2009 р.р.), VIII міжнародній науково-практичній конференції "Теорія і практика збагачення та переробки мінеральної сировини" (м. Маріуполь, 24-27 травня 2005 р.), IX міжнародній науково-практичній конференції "Ресурси та енергозберігаючі технології при переробці мінеральної сировини" (м. Маріуполь, 22-24 травня 2006 р.), X міжнародній науково-практичній конференції "Технологіко-екологічний інжиніринг при переробці мінеральної сировини" (м. Бердянськ, 23-26 травня 2007 р.), XI міжнародній науково-практичній конференції «Екологічні аспекти збагачення корисних копалин» (м. Бердянськ, 21-23 травня 2008 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Форум гірняків – 2008» (м. Дніпропетровськ, 13-15 жовтня 2008 р.), XII міжнародній науково-практичній конференції по збагаченню корисних копалин (м. Бердянськ, 20-25 травня 2009 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Форум гірняків – 2009» (м. Дніпропетровськ, 30 вересня – 02 жовтня 2009 р.), XIII міжнародній науково-практичній конференції по збагаченню корисних копалин (м. Бердянськ, 19-22 травня 2010 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 13 наукових праць: 1 монографія (у співавторстві), 7 робіт у фахових виданнях, 2 патенти, 4 статті у збірниках праць конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел (135 найменувань на 13 сторінках); містить 139 сторінок основного тексту, в тому числі: 56 рисунків, 36 таблиць, та 4 додатки на 24 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані наукова задача, мета, задачі, предмет та об'єкт досліджень, наведена наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, представлені наукові положення, що виносяться на захист, а також інформація щодо апробації результатів дисертації та публікацій за темою.

У першому розділі, у відповідності до першої задачі дослідження, проаналізовано відомі методи і обґрунтовані перспективні підходи до удосконалення процесу сухого збагачення рядового вугілля та продуктів його переробки.

Серед відомих сухих методів розділення перспективними і технічно впровадженими є збагачення за тертям. Пристрої, що застосовуються для цих методів, відрізняються простотою конструкції і експлуатації, невеликими габаритами та низькою енергоємністю. Застосування даних методів для технології попереднього збагачення в межах шахти дозволить, за умови зменшення обсягу гірничої маси, скоротити витрати на транспортування та переробку сировини на збагачувальній фабриці, а у деяких випадках отримати товарний вугільний продукт.

Однак недостатня контрастність у коефіцієнтах тертя породних та вугільних часток призводять до низької ефективності збагачення.

На сьогодні відсутні дослідження засобів підвищення контрастності фізико-механічних властивостей вугільних та породних часток, що перешкоджає широкому використанню методів збагачення тертям, за формою, за пружністю, або їх комплексному застосуванню. Подальший розвиток та перспективи розглянутих методів сепарації пов'язують з удосконаленням теорії процесу розділення за умови керуванням механізмом збільшення контрастності вугільних та породних часток при їх збагаченні у гравітаційному полі сил.

На підставі цього зроблено висновок про доцільність встановлення закономірностей впливу віброзбудження на фізико-механічні властивості вугільних, промпродуктових та породних часток у мить їх контакту з нахиленою гумовою поверхнею, яка рухається догори, для обґрунтування конструкції сепаратора та розробки технології трибовіброгравітаційної сепарації рядового вугілля та продуктів його збагачення.

За результатами аналізу сформульовані задачі досліджень, вирішення яких дозволить досягти мети роботи.

В другому розділі, відповідно до другої задачі досліджень, виконано теоретичне обґрунтування основних параметрів трибовіброгравітаційної сепарації, вилучення часток у концентрат та довжини ділянки віброзбудження.

Для визначення основних параметрів трибовіброгравітаційної сепарації була розроблена фізична модель процесу, на підставі якої розглянуто баланс моментів сил, які діють на частку у мить контакту з робочою поверхнею і обумовлюють імовірність її скочування у нижній продукт, і отримано нерівність у вигляді:

$$\frac{\cos \alpha}{\sin \beta} > \frac{f_k}{\sin \beta} + \frac{V_l}{qt \sin(90 - \beta)}, \quad (1)$$

де α - кут нахилу робочої поверхні; β - кут відхилення осі частки від нормалі у точці її контакту з робочою поверхнею; f_k - коефіцієнт тертя кочення; V_l - швидкість руху робочої поверхні; q - прискорення сили ваги; t - час руху робочої поверхні.

З нерівності (1) слідує:

- швидкість робочої поверхні (параметр V_l) і коефіцієнт тертя катання (параметр f_k) є найбільш значними факторами, які визначають вилучення частки у концентраті (нижній продукт) або відходи (верхній продукт);
- маса й розмір часток не впливають на процес розподілу;
- кут нахилу робочої поверхні (параметр α) визначається коефіцієнтом тертя кочення, який залежить від крупності часток;
- кут відхилення осі частки від нормалі у точці її контакту з робочою поверхнею (параметр β) визначається імовірністю скочування;
- коефіцієнт тертя кочення частки (параметр f_k) визначається коефіцієнтом тертя спокою матеріалу і коефіцієнтом форми частки (параметр f_ϕ).

Для визначення вилучення часток менше щільності розподілу у концентрат на основі закону діючих мас отримано рівняння :

$$\varepsilon_m = 1 - e^{-K_m \cdot t}, \quad \text{при } 0 < t \leq 3 \text{ с}, \quad (2)$$

де K_m - параметр, який характеризує імовірність скочування вугільних часток на робочій поверхні трибовібросепаратора і залежить від коефіцієнта їх форми; t - час знаходження частки на ділянці віброзбудження робочої поверхні, с.

На рис. 1 наведена залежність $K_m = f(f_{\phi k})$, де $f_{\phi k}$ - коефіцієнт форми частки вугілля, яка отримана експериментальним шляхом, та свідчить, що при її зростанні, відбувається збільшення імовірності вилучення частки у нижній продукт.

З метою визначення довжини ділянки віброзбудження аналітичним шляхом отримано значення імовірності вилучення частки у нижній продукт за один її контакт з робочою поверхнею:

$$P = \frac{1 - \frac{V_l t q \beta}{qt} + f_k}{\frac{\sin \beta}{\sin(\beta - \alpha)} + 1} \quad (3)$$

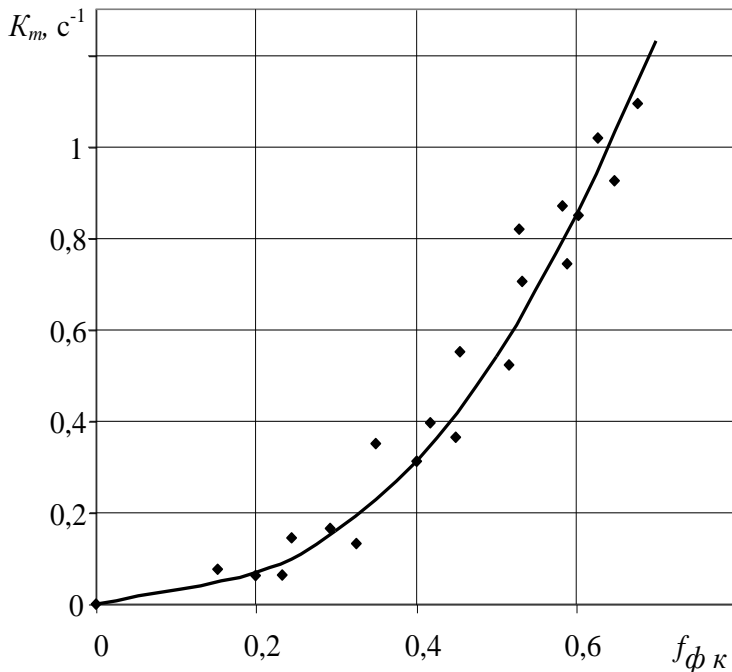


Рис. 1. Залежність $K_m = f(f_{\phi_k})$.

Використовуючи рівняння (3), довжина ділянки віброзбудження визначається, як

$$L_{\phi} = N \cdot \ell, \text{ м,}$$

де $N = 1/P$ - кількість контактів частки, яке забезпечує її перехід у нижній продукт; ℓ - довжина шляху, який проходить частка за один міжконтактний період, м.

Таким чином, на підставі фізичної моделі сепарації та залежностей 2 і 3 визначена імовірності скочування однієї частки та маси часток, на підставі яких встановлені основні параметри кількісно-якісних показників трибовіброгравітаційної сепарації.

У третьому розділі, у відповідності з третьою задачею досліджень, виконане визначення фізико-механічних властивостей рядового вугілля та продуктів його видобутку та збагачення, а саме коефіцієнтів тертя спокою f_n , ковзання f_c , катання f_k та форми f_{ϕ} .

Дослідження виконувались на відомих експериментальних приладах з використанням відомих методик.

Матеріал, що використовувався при дослідженнях, був сумішшю вугільних, промпродуктових та породних часток рядового вугілля, відвальної шахтної породи, відходів та промпродукту вуглезбагачувальних фабрик.

При дослідженні коефіцієнтів тертя встановлена їх залежність від середнього діаметру часток матеріалу d_{cp} у вигляді лінійного рівняння регресії:

$$f = a - b d_{cp},$$

де a, b - коефіцієнти регресії, значення яких наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів рівняння регресії

Коефіцієнт тертя	Вугілля			Промпродукт			Порода		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i>
Крупно-куськове рядове вугілля									
Спокою f_n	0,91	0,0038	0,9908	0,98	0,0042	0,9928	1,03	0,0045	0,9715
Ковзання f_c	0,68	0,0030	0,9917	0,76	0,0036	0,9879	0,89	0,0043	0,9715
Катання f_k	0,563	0,0028	0,9908	0,6924	0,0031	0,8071	1,0332	0,0044	0,9904
Відвальна шахтна порода									
Спокою f_n	0,83	0,0035	0,9901	0,95	0,0039	0,9944	1,01	0,0044	0,9892
Ковзання f_c	0,63	0,0032	0,9903	0,76	0,0036	0,9956	0,84	0,0041	0,9950
Катання f_k	0,5539	0,0023	0,9938	0,6508	0,0028	0,9965	0,858	0,004	0,9023
Крупні відходи вуглезбагачувальних фабрик									
Спокою f_n	1,01	0,0044	0,9905	1,07	0,0048	0,9961	1,13	0,0052	0,6948
Ковзання f_c	0,78	0,0032	0,9906	0,93	0,0041	0,9959	1,02	0,0048	0,6926
Катання f_k	0,5055	0,0021	0,9909	0,6919	0,0029	0,989	0,7685	0,0032	0,9884
Крупний промпродукт вуглезбагачувальних фабрик									
Спокою f_n	0,93	0,0041	0,9947	0,96	0,0041	0,9661	0,98	0,0041	0,9889
Ковзання f_c	0,73	0,0036	0,9953	0,78	0,0036	0,9979	0,85	0,0036	0,9964
Катання f_k	0,6467	0,0018	0,9938	0,8453	0,0035	0,9767	0,9555	0,004	0,9883

R - коефіцієнт кореляції.

При дослідженні коефіцієнтів форми часток f_ϕ від їх середнього діаметру d_{cp} отримані залежності, наведені на рис. 2, аналіз яких вказує на недостатню ефективність розділення за цією властивістю.

З метою збільшення контрастності фізико-механічних властивостей вугільних та породних часток виконано дослідження впливу віброзбудження на їх уявні коефіцієнти тертя, при цьому амплітуда коливань дорівнювала 1,4 мм, а частота – 2400 хв.⁻¹. Результати цих досліджень наведені у табл. 2, де $f_{нк}$, $f_{ск}$, $f_{кк}$ - відповідно, уявні коефіцієнти тертя спокою, ковзання та кочення концентратних часток без вібрацій поверхні; $f_{нкв}$, $f_{скв}$, $f_{ккв}$ - те саме з вібраціями поверхні; $f_{нп}$, $f_{сп}$, $f_{кп}$ - відповідно, уявні коефіцієнти тертя спокою, ковзання та катання породних часток без вібрації поверхні; $f_{нпв}$, $f_{спв}$, $f_{кпв}$ - те саме з вібраціями поверхні.

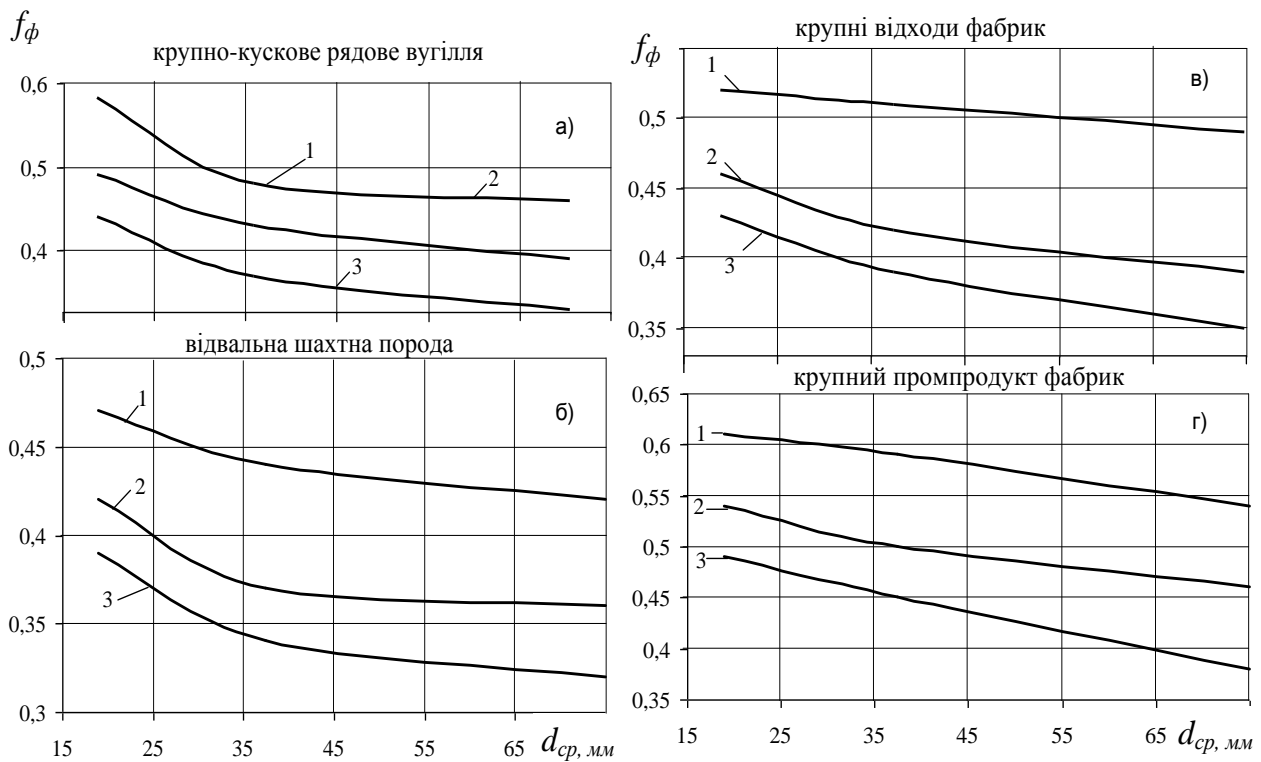


Рис. 2. Залежність $f_{\phi} = f(d_{cp})$:

а – для крупно-кускового рядового вугілля; б – для відвальної шахтної породи; в – для крупних відходів вуглезбагачувальних фабрик; г – для крупного промпродукту вуглезбагачувальних фабрик. 1, 2, 3 – відповідно, концентратні, промпродуктові та породні частки.

Таблиця 2

Розрахункові показники співвідношення коефіцієнтів тертя

Співвідношення	Клас, мм		Співвідношення	Клас, мм	
	13-25	13-25		25-50	25-50
$f_{нк} / f_{нкв}$	2,37	1,618	$f_{нп} / f_{нк}$	1,15	1,126
$f_{ск} / f_{скв}$	2,25	1,31	$f_{сп} / f_{ск}$	1,31	1,30
$f_{кк} / f_{ккв}$	7,28	2,09	$f_{кп} / f_{кк}$	1,58	1,54
$f_{нп} / f_{нпв}$	2,03	1,39	$f_{нпв} / f_{нкв}$	1,35	1,30
$f_{сп} / f_{спв}$	2,00	1,21	$f_{спв} / f_{скв}$	1,48	1,41
$f_{кп} / f_{кпв}$	4,24	1,49	$f_{кпв} / f_{ккв}$	2,72	2,16

Данні табл. 2 свідчать, що фактор розподілу породних та вугільних часток, який визначається відношенням їх уявних коефіцієнтів тертя, має значення більше 1,5 тільки для коефіцієнтів тертя катання і складає 2,72 для класу 13-25 мм і 2,16 для класу 25-50 мм, що дозволяє їх збагачення за цією ознакою на трибовіброгравітаційному сепараторі.

На підставі цих результатів обґрунтовані **наукові положення**.

Таким чином, накладання віброзбудження на робочу поверхню зменшує абсолютні значення коефіцієнтів тертя вугільних і породних часток, але при цьому зростає їх різниця (контрастність) до межі, яка дозволяє їх ефективно збагачення трибовіброгравітаційною сепарацією.

У четвертому розділі, відповідно до четвертої задачі досліджень, експериментально встановлена залежність між ефективністю збагачення і технологічними (середній діаметр часток, питома навантаження, волога і фракційний склад матеріалу), конструктивними (кут нахилу і швидкість стрічки сепаратора) та динамічними (амплітуда коливань віброзбудження і кут нахилу стрічки сепаратора) параметрами трибогравітаційної сепарації з урахуванням фізико-механічних властивостей вихідного матеріалу.

При дослідженні технологічних параметрів встановлено, що залежність ефективності збагачення від крупності матеріалу (рис. 3а) має екстремальний характер з максимумом на класі крупності 13-25 мм ($d_{cp}=19,0$ мм), а з зростанням питомого навантаження зменшується (рис. 3б). Збільшення вологи (рис. 3в) також зменшує ефективність збагачення і після $W^f=10\%$ стає технологічно недоцільним. Залежність ефективності збагачення від фракційного складу вихідного матеріалу має екстремальний характер з мінімумом у діапазоні значення параметра K від 40/60 до 60/40 (рис. 3г).

При експериментальному дослідженні конструктивних параметрів визначена ефективність збагачення від кута нахилу робочої поверхні (рис. 4а), яка має екстремальний характер для кожного класу крупності, причому чим більше клас крупності, тим при меншому куті нахилу настає цей максимум. Крім того, встановлено (рис. 4б), що збільшення швидкості руху робочої поверхні має більш вагомий вплив на збагачення дрібних класів у порівнянні з крупними. Залежності $E = f(V_n)$ мають екстремальний характер, причому з зменшенням крупності матеріалу екстремум зменшується у сторону більш низьких значень швидкості і має більш високі показники ефективності збагачення.

При аналізі результатів експериментів встановлено, що накладання віброзбудження неоднозначно впливає на розподіл матеріалу за щільністю на робочій поверхні, яка встановлена під різними кутами нахилу (рис. 5а). Так, для класу 13-25 мм при куті нахилу 15 град з зростанням частоти коливань ефективність збагачення збільшується по висхідній увігнутій кривій, при 18 град – по висхідній випуклій кривій, при 20 град – інтенсивність збільшення ефекти-

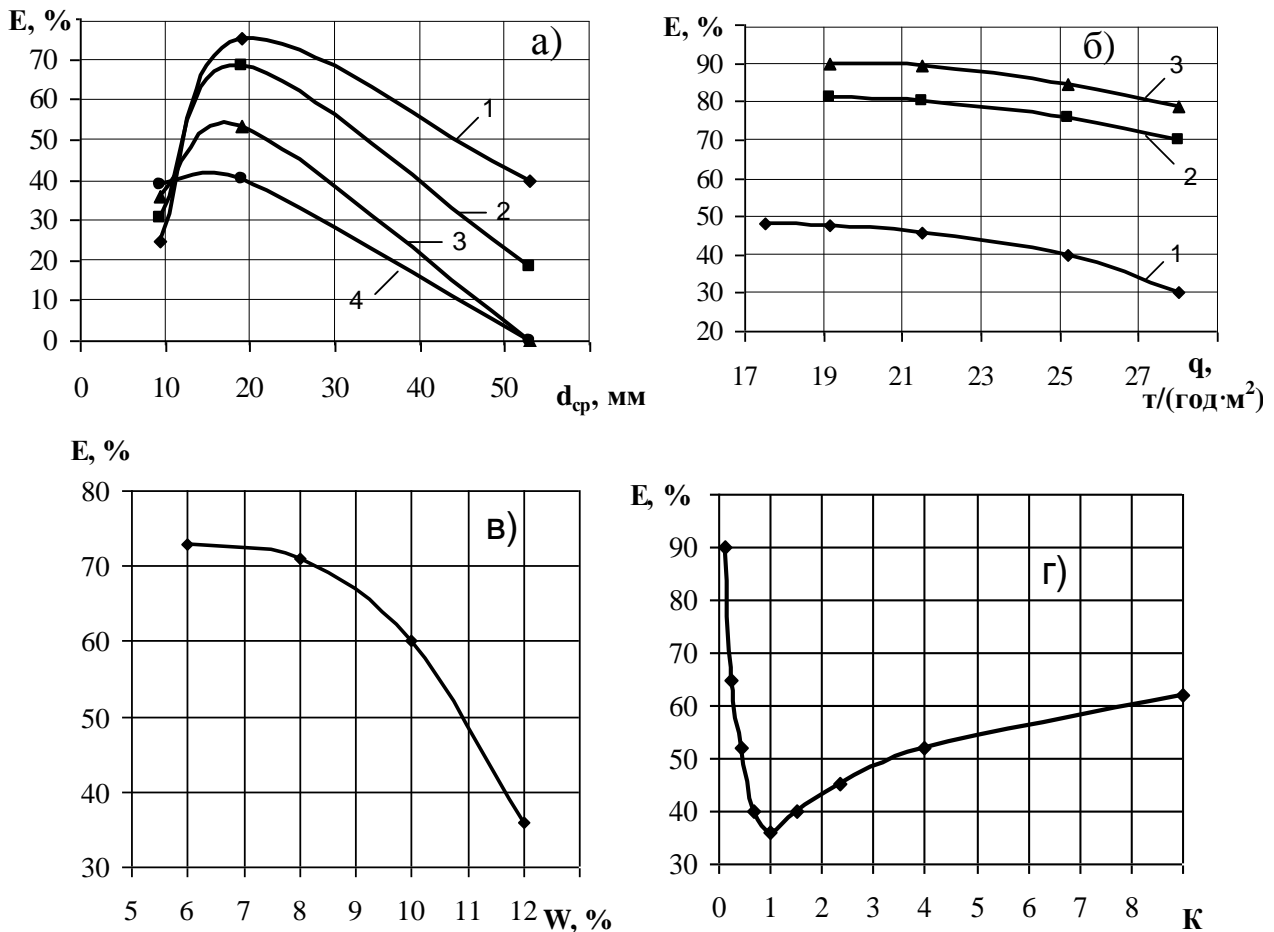


Рис. 3. Залежність ефективності збагачення E від середнього діаметру часток d_{cp} (а, 1-17 град., 2-18 град, 3-19 град, 4-20 град.); питомого навантаження q (б, 1 – клас 6-13 мм, 2 – клас 13-25 мм, 3 – клас 25-50 мм); вологи W^r (в, для класу 13-25 мм) і параметру фракційного складу вихідного продукту K (г, для класу 13-25 мм).

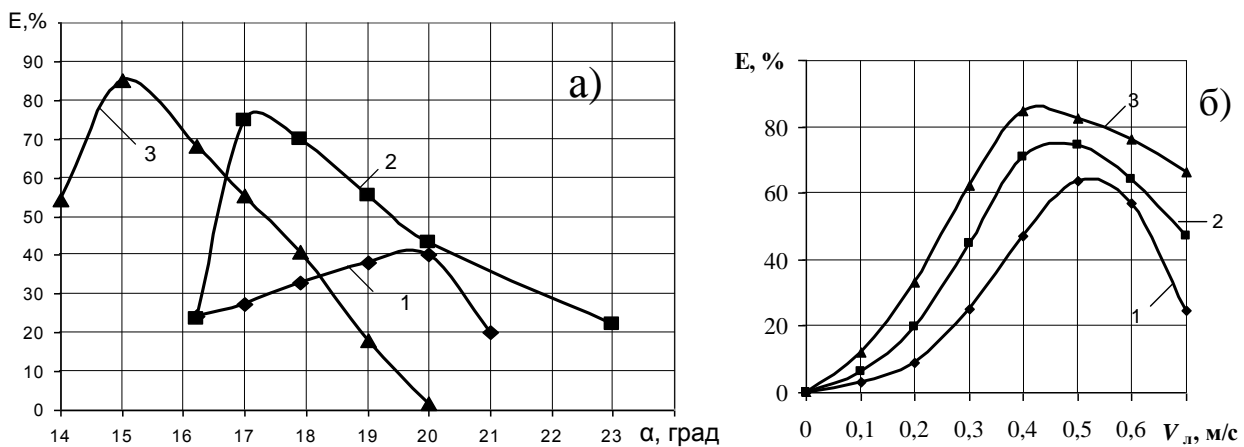


Рис. 4. Залежність ефективності збагачення E від кута нахилу α (а) та швидкості стрічки V_d (б) трибовібросепаратора: 1 – клас 6-13 мм, 2 – 13-25 мм, 3 – клас 25-50 мм.

вності з ростом частоти коливань зменшується, при 22 град – збільшення частоти коливань практично не впливає на ефективність збагачення, при 24 град – залежність стає зворотною. Причому, як слідує із рис. 5б кожна частота коливань має максимальне значення ефективності збагачення при заданому куті нахилу робочої поверхні із зменшенням питомого навантаження це значення стає більшим і при меншому куті нахилу.

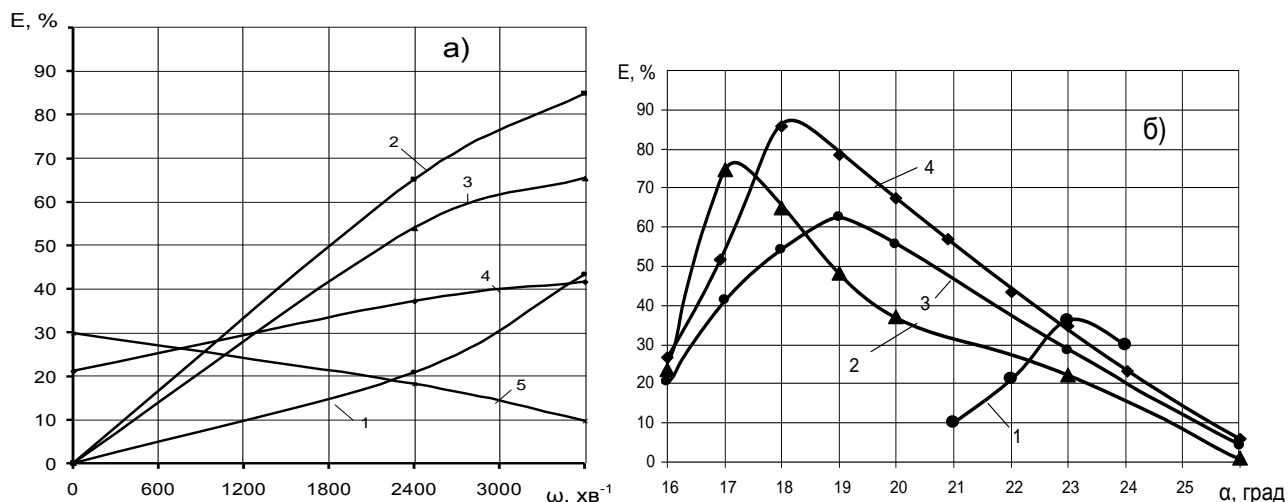


Рис. 5. Залежність ефективності збагачення E від частоти коливань ω (а) для класу 13-25 мм при $q = 35$ т/(год·м²), та від кута нахилу α (б) для класу 13-25 мм: а) 1 - $\alpha = 16$; 2 - $\alpha = 16$; 3 - $\alpha = 20$; 4 - $\alpha = 22$; 5 - $\alpha = 24$; б) 1 - $\omega = 0$ хв⁻¹, $q = 35$ т/(год·м²); 2 - $\omega = 2600$ хв⁻¹, $q = 25$ т/(ч·м²); 3 - $\omega = 2600$ хв⁻¹, $q = 35$ т/(год·м²); 4 - $\omega = 3200$ хв⁻¹, $q = 35$ т/(ч·м²).

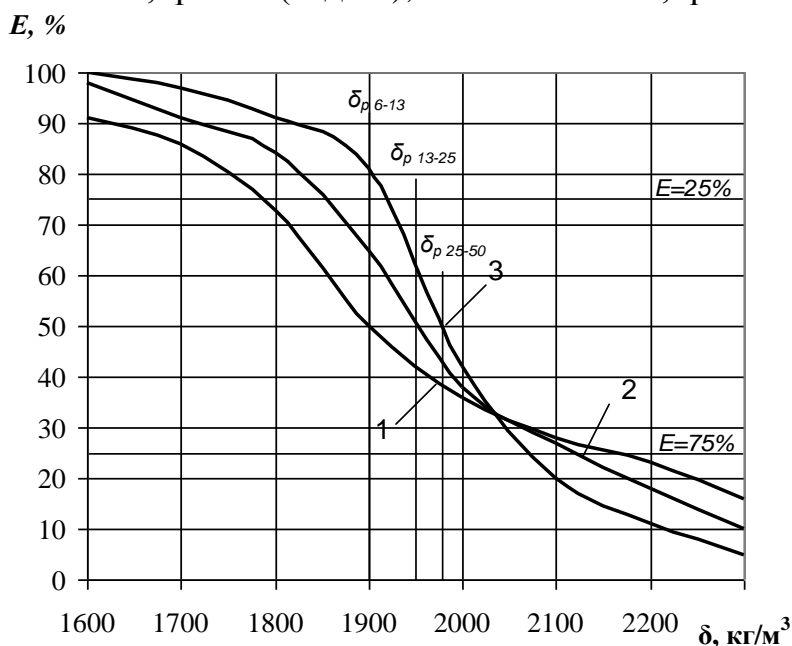


Рис.6. Сепарційна характеристика лабораторної моделі трибовіброгравітаційного сепаратора: 1 - клас 6-13 мм; 2 - клас 13-25 мм; 3 - клас 25-50 мм.

З аналізу сепараційної характеристики, побудованої за даними експериментальних досліджень, (рис. 6) слідує, що з збільшенням крупності вихідного машинного класу значення засмічення продуктів збагачування зменшується, а межова щільність розподілу зростає. Так, для класів крупності 6-13, 13-25 і 25-50 мм E_{pm} складає, відповідно, 190, 110 і 60 кг/м³, а межова щільність розподілу 1780, 1880 і 1930 кг/м³, при цьому зольність концентрату зменшується, а зольність породи зростає.

Отримані залежності дозволили здійснити обґрунтування параметрів експериментального зразка трибовіброгравітаційного сепаратора, та побудови за його допомогою технології збагачення рядового вугілля та вуглевміщуючих матеріалів.

У п'ятому розділі, відповідно п'ятій задачі досліджень, відображені результати розробки технології трибовіброгравітаційної сепарації рядового вугілля та відходів його видобутку і переробки, яка дозволила зменшити зольність товарної продукції вугільних шахт і вилучати додатковий енергетичний концентрат із вуглевміщуючих матеріалів. На підставі результатів досліджень, викладених у розділах 2-4, розроблена конструкторська документація експериментального зразка трибовіброгравітаційного сепаратора ТСЛ-6.0.

Закономірності, які отримані у розділі 4, покладені в основу при розробці технології трибогравітаційної сепарації крупно-кускового рядового вугілля шахти «Бужанська», що дозволяє знизити зольність вугілля на 5,3% з 38,8% до 33,5%; відвальної шахтної породи шахти «Відродження», що дозволяє додатково вилучити із відвальної породи товарну продукцію у вигляді енергетичного концентрату з зольністю 25,1% і виходом 4,2%; крупних відходів ЦЗФ «Добропільська» з випуском додаткового енергетичного концентрату у кількості 5 т/год; крупного промпродукту ЦЗФ «Пролетарська» з випуском додаткового енергетичного концентрату у кількості 1 т/год.

Річний загальний економічний розрахунковий ефект від впровадження цих технологій складає 24,8 млн. грн.

Отримані результати використані ДП «Укрндівуглезбагачення» для розробки рекомендацій щодо впровадження технології трибовіброгравітаційної сепарації з метою вилучення додаткового енергетичного концентрату з вуглевміщуючих матеріалів.

ВИСНОВКИ

В дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, сформульована та вирішена актуальна **наукова задача**, яка полягає у визначенні закономірностей впливу віброзбудження на контрастність фізико-механічних властивостей вугільних і породних часток у мить їх контакту з нахиленою пружною

поверхнею, що рухається догори. На основі цих закономірностей виконано обґрунтування параметрів трибовіброгравітаційного сепаратора і розроблена нова технологія трибовіброгравітаційного збагачення кам'яного вугілля і відходів його видобутку та переробки, впровадження якої дозволили збільшити вихід енергетичного концентрату за рахунок зменшення втрат паливної маси з відходами виробництва.

Найбільш важливі наукові та практичні результати, висновки і рекомендації полягають в наступному:

1. Вміст горючої маси у відходах видобутку та переробки кам'яного вугілля складає відповідно до 8% і до 23,2%. Для зменшення цих показників використання традиційних сухих методів збагачення є недоцільним через низьку розподільчу здібність за щільністю вихідних матеріалів. Новим підходом до збагачення кам'яного вугілля і відходів його видобутку та переробки є застосування трибовіброгравітаційної сепарації, де збільшення розподільчої здібності вугільних та породних часток здійснюється за рахунок застосування інтенсифікуючих факторів.

2. Визначено співвідношення уявних коефіцієнтів тертя спокою, ковзання, катання вугільних та промпродуктових часток до аналогічних показників породних для крупно-кускового рядового вугілля, відвальної шахтної породи, крупних відходів і промпродукта вуглезбагачення без і з накладанням віброзбудження, на підставі яких визначена можливість збагачення матеріалів, що розглядалися, методом трибовіброгравітаційної сепарації.

3. Розподільча здібність кам'яного вугілля та породи при трибовіброгравітаційної сепарації збільшується накладанням на ділянку робочої поверхні, що рухається догори, вібрацій у зоні контакту з вихідним матеріалом, що падає на неї.

4. Параметри віброзбудження для досягнення максимального ефекту сепарації підбираються в залежності від крупності, щільності та вологи матеріалу, що сепарується, таким чином, щоб кут нахилу робочої поверхні, при якому здійснюється перекатування породних часток, був не менш як у 2 рази більше, ніж для вугільних.

5. Розроблена фізична модель трибовіброгравітаційної сепарації, яка дозволяє визначити вилучення матеріалу у ніжній продукт і довжину ділянки віброзбудження в залежності від імовірності скатування часток у мить їх контакту з робочою поверхнею.

6. Встановлено залежності уявлених коефіцієнтів тертя спокою, ковзання, катання та форми вугільних, промпродуктових і породних часток крупно-кускового кам'яного вугілля, відвальної шахтної породи, крупних відходів та промпродукту вуглезбагачувальних фабрик з кутом нахилу та параметрами ко-

ливань робочої поверхні, що дозволило обґрунтувати параметри і розробити конструкцію стрічкового трибовіброгравітаційного сепаратора.

7. Коефіцієнти форми вугільних часток майже у 1,2 рази більше коефіцієнтів форми породних часток для усіх матеріалів, що розглядалися, при цьому з збільшенням середнього діаметру часток це значення зростає, що дозволило обґрунтувати необхідність класифікації вихідного матеріалу на машинні класи з вузьким діапазоном крупності.

8. Значення показника середньоквадратичного відхилення ефективності трибовіброгравітаційного сепаратора збільшується з зменшенням крупності матеріалу, який збагачується, і складає для класів 6-13, 13-25 та 25-50 мм, відповідно, 190, 110 та 60 кг/м³.

9. Встановлено залежності впливу технологічних, конструктивних і динамічних параметрів на показник ефективності збагачення на підставі яких розроблена технологія трибовіброгравітаційної сепарації кам'яного вугілля.

10. Технологічні схеми трибовіброгравітаційної сепарації крупнокускового кам'яного вугілля шахти «Бужанська» із зниженням зольності вугільної продукції з 38,8% до 33,0%; відвальної породи шахти «Відродження», крупних відходів ЦЗФ «Добропільська», крупного промпродукту ЦЗФ «Пролетарська» з отриманням додаткового енергетичного концентрату с зольністю та виходом відповідно 25,1% і 4,2; 28,1% і 3,8%; 28,7% і 6,9% передані ДП «Укрнідвуглезабагачення» для розробки рекомендації з їх впровадження.

Розрахунковий річний загальний економічний ефект від впровадження цих технологій складає 24,8 млн. грн.

Основні положення і результати дисертації опубліковані у 13 наукових працях, основні з яких:

1. Полулях Д.А. Энергетическая интерпретация гравитационных процессов зернистых сред при обогащении полезных ископаемых / А.Д. Полулях, В.И. Чмилев, О.В. Ищенко, Д.А. Полулях. – Луганск: Изд-во Восточно-украинского Национального университета им. В.Даля. – 2006. – 144 с.

2. Полулях Д.А. К вопросу технологической целесообразности переобогащения промпродукта на углеобогатительных фабриках / Д.А. Полулях // Збагачення корисних копалин: Наук. техн. зб. – 2005. – № 22(63) – С.16-22.

3. Полулях Д.А. Исследование промпродукта углеобогатительных фабрик как объекта обогащения / В.И. Чмилев, Д.А. Полулях, Д.В. Шевченко // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2006. - № 24(65). – С. 9-26.

4. Полулях Д.А. Исследование способов переобогащения промпродукта ЦОФ «Чумаковская» с целью получения коксового концентрата / Д.А. Полулях // Збагачення корисних копалин: Наук. техн. зб. – 2006. – №25(66) №26(67) – С.55-59.

5. Полулях Д.А. Оценка способов обогащения промпродукта на углеобогажительных фабриках / П. И. Пилов, Д.А. Полулях // Збагачення корисних копалин: Наук. техн. зб. – 2007.– №29(70) – 30(71) – С.46-57.

6. Полулях Д.А. Динамика обогатимости рядового угля шахт ГП «Львовуголь» / А.Д. Полулях, Д.А. Полулях, О. В. Моисеенко, Н. И. Абакумов // Збагачення корисних копалин: Наук. техн. зб. – 2008. – №35(76) – С.7-12.

7. Полулях Д.А. Лабораторні випробування стрічкового трибосепаратора / Д.А. Полулях // Збагачення корисних копалин: Наук. техн. зб. – 2008. – №35(76) – С.144-147.

8. Полулях Д.А. Теоретический анализ трибовиброгравитационной сепарации / Д.А. Полулях // Збагачення корисних копалин: Наук. техн. зб. – 2009. – №38(79) – С.126-132.

9. Патент України на винахід № 17057. Трибогідросепаратор / Д.О. Полулях; заявник та власник патенту ДП «Укрндівуглезбагачення». – Опубл. 2006, Бюл. № 9.

10. Патент України на винахід №27744 / Д.О. Полулях, І.П. Купченко, О.Д. Полулях; заявник та власник патенту ДП «Укрндівуглезбагачення». – Опубл. 12.11.07 Бюл. №18.

11.Полулях Д.А. Анализ способов переработки промпродукта углеобогажительных фабрик / П.И. Пилов, Д.А. Полулях // Материалы 12-ой международной науч.-практ. конф. по обогащению полезных ископаемых // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2008. - № 35(76). – С. 7-12.

12.Полулях Д.А. Определение коэффициентов формы крупных частиц рядового угля и продуктов его переработки / Д.А. Полулях, А.К. Сокур, Ю.Ю. Москаленко // Материалы международной науч.-практ. конф. «Форум горняков – 2009» // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2009. - № 38(79). – С. 133-136.

13.Полулях Д.А. Трибовиброгравитационная сепарация каменного угля и продуктов его переработки / Д.А. Полулях // Материалы 13-ой международной науч.-практ. конф. по обогащению полезных ископаемых // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. - № 41(82)-№ 42(83). – С. 226-232.

Особистий внесок автора в роботах, які написані в співавторстві:

[1] - узагальнення результатів розподілу зернистих середовищ за щільністю;

[3, 5, 11] - обґрунтування доцільності збагачення промпродукту збагачувальних фабрик;

[6] - розробка технологічних рішень;

[10] - ідея і основні відмінні ознаки;

[12] - обробка та аналіз результатів і формування висновків.

АНОТАЦІЯ

Полулях Д.О. Трибовіброгравітаційна сепарація кам'яного вугілля. - 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.

Дисертація присвячена дослідженню процесу комплексного збагачення за тертям, формою і пружністю та спрямована на вирішення задачі збільшення виходу енергетичного концентрату за рахунок зменшення втрат паливної маси з відходами виробництва.

У дисертації виконані теоретичні дослідження умов розподілу вуглевміщуючих матеріалів на стрічковому трибовіброгравітаційному сепараторі. Встановлено, що збільшення контрастності фізико-механічних властивостей вугільних і породних часток у мить їх контакту з нахиленою пружною поверхнею, що рухається догори, досягається накладанням віброзбудження на ділянку контакту. За допомогою цих висновків обґрунтовано параметри, які використані для створення експериментального зразка трибовіброгравітаційного сепаратора.

Встановлено залежність технологічних конструктивних і динамічних параметрів від ефективності процесу трибовіброгравітаційної сепарації.

Результати досліджень використані при розробці технології трибовіброгравітаційного збагачення кам'яного вугілля шахт «Бужанська» та «Відродження», ЦЗФ «Добропільська», ЦЗФ «Пролетарська».

Річний загальний економічний розрахунковий ефект від впровадження цих технологій складає 24,8 млн. грн.

Отримані результати використані інститутом «Укрндівуглезбагачення» для розробки рекомендацій щодо вилучення додаткового енергетичного концентрату з вуглевміщуючих матеріалів.

Ключові слова: вуглевміщуючі матеріали, втрати горючої маси, підвищення контрастності фізико-механічних властивостей, трибовіброгравітаційна сепарація, ефективність.

АННОТАЦИЯ

Полулях Д.А. Трибовиброгравитационная сепарация каменных углей. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.08 - «Обогащение полезных ископаемых». - Нацио-

нальный горный университет, Министерство образования науки Украины, Днепропетровск, 2010.

Диссертация посвящена исследованию процесса комплексного обогащения по трению, форме и упругости и направлена на решение задачи увеличения выхода энергетического концентрата за счет снижения потерь горючей массы с отходами производства.

В диссертации выполнены теоретические исследования условий разделения углесодержащих материалов на ленточном трибовиброгравитационном сепараторе. Установлено, что увеличение контрастности физико-механических свойств угольных и породных частиц в момент их контакта с наклоненной эластичной движущейся вверх поверхностью достигается наложением вибровозбуждения на участок контакта. На основании этих выводов обоснованы параметры, которые использованы при создании экспериментального образца трибовиброгравитационного сепаратора.

При определении физико-механических свойств угольных, промпродуктовых и породных частиц крупно-кускового рядового угля, отвальной шахтной породы, крупных отходов и промпродукта углеобогажительных фабрик, установлена взаимосвязь коэффициентов трения покоя, скольжения и качения с крупностью материала в виде линейного уравнения регрессии и определены коэффициенты регрессии. Определены также коэффициенты формы этих частиц.

Кроме того, установлено, что разделительная способность каменного угля и продуктов его добычи и переработки при комплексном обогащении по трению, форме и упругости на наклонной движущейся вверх эластичной поверхности определяется различием кажущихся коэффициентов трения качения угольных, а породных частиц, а контрастность их физико-механических свойств увеличивается наложением в момент их контакта с рабочей поверхностью вибровозбуждения с амплитудой и частотой колебаний, соответственно, 1,4 мм и 2600 мин.⁻¹, что обеспечивает отношение значений кажущихся коэффициентов качения этих частиц не менее чем в 2 раза.

Определено значение E_{pm} трибовиброгравитационного сепаратора, которое увеличивается с уменьшением крупности обогащаемого материала и составляет для классов 6-13, 13-25 и 25-50 мм, соответственно, 190, 110 и 60 кг/м³.

На основании лабораторных исследований установлено влияние технологических, конструктивных и динамических параметров на эффективность процесса трибовиброгравитационной сепарации.

Результаты исследований использованы при разработке конструкторской документации на экспериментальный образец ленточного трибовиброгравитационного сепаратора и технологии трибовиброгравитационной сепарации крупно-кускового каменного угля шахты «Бужанская», отвальной шахтной по-

роды шахты «Возрождения», крупных отходов ЦОФ «Добропольская» и крупного промпродукта ЦОФ «Пролетарская».

Годовой общий экономический расчетный эффект от внедрения разработанных технологий составляет 24,8 млн. грн.

Полученные результаты использованы институтом «Укрнииуглеобогащение» для разработки рекомендаций по извлечению дополнительного энергетического концентрата из углесодержащих материалов.

Ключевые слова: углесодержащие материалы, потери горючей массы, повышение контрастности физико-механических свойств, трибовиброгравитационная сепарация, эффективность.

SUMMARY

Polulyakh D.O. The Tribovibrogravitation separation of coal. Manuscript.

The dissertation to obtaining of the scientific degree of candidate in Technical Sciences with specialty 05.15.08 - "Minerals dressing". - National mining university, Dnepropetrovsk, 2010.

The dissertation is devoted research of process of the complex enriching , after a friction form and resiliency and directed on the decision of task of increase of output of power concentrate due to diminishing of losses of fuel mass with the offcuts of production.

In the dissertations executed theoretical researches of terms of distributing of coal's contenting materials are on a band tribovibrogravitation separator. It is set that the increase of contrasty of physico-mechanical properties of coal and pedigree particles in the instant of their contact with the inclined resilient surface which moves up, is arrived at imposition of vibroexcitation on the area of contact. By these conclusions grounded parameters which are utilized for creation of experimental standard of tribovibrogravitationseparator.

Certainly physico-mechanical properties of large lump ordinary coal, turn mine breed, large offcuts, and middling product of coal preraration factories, as objects of enriching by tribovibrogravitation separation .

Intercommunication of technological structural and dynamic parameters is set on efficiency of process of tribovibrogravitation separation.

Results of researches are the technologies of tribovibrogravitation separation of large lump anthracite coal of mine of «Buzhanska» used for development, dump of breed of mine of «Revival», large offcuts of central plant «Dobropil'ska», large middling product of CZF «Proletarska».

An annual general economic calculation effect from introduction of these technologies makes 24,8 million Uah.

It is got results institute «Ukrndivuglezbagachennye» is utilized for development of recommendations in relation to the exception of additional power concentrate from coal's contenting materials .

Keywords: coal's contenting materials, losses of combustible mass, increase of contrast of physical-mechanical properties, tribovibrogravitation separation, efficiency.