

*Шевчук С.П., д.т.н., проф., Поліщук В.О., Зайченко С.В., Киричук В.А.  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
НТУУ «КПІ», пр-т Перемоги 37, м. Київ, Україна, 03056  
E-mail: [Emoevkpi@i.com.ua](mailto:Emoevkpi@i.com.ua)*

**Вступ.** В останні роки спостерігається тенденція зниження якості видобутого вугілля за рахунок збільшення зольності і ступеня подрібнення гірничої маси, тому реалізація ефективних методів сухого збагачення дрібних класів вугілля в умовах шахт особливо актуальна.

Створення компактного і енергоємного обладнання машин для збагачення вугілля дозволить значно зменшити транспортні витрати при доставці на збагачувальні фабрики.

**Аналіз попередніх досліджень.** Серед методів сухого збагачення гірничої маси, яка складається з компонентів, що мають різні коефіцієнти тертя, слід відзначити метод сухого збагачення за тертям [1].

Запропоновані схеми методом збагачення за тертям з ряду причин не знайшли широкого застосування.

Головним недоліком існуючих схем збагачення за тертям можливо вважати складність процесу взаємодії компонентів під час їх руху, і як наслідок, майже однакову траєкторію руху часток компонентів.

**Матеріал і результати досліджень.** Для усунення даного недоліку авторами запропоновано нову схему сухого збагачення за тертям, яка передбачає силове відділення часток одного компоненту від іншого. Принцип роботи машини збагачення за тертям представлено на рис. 1.

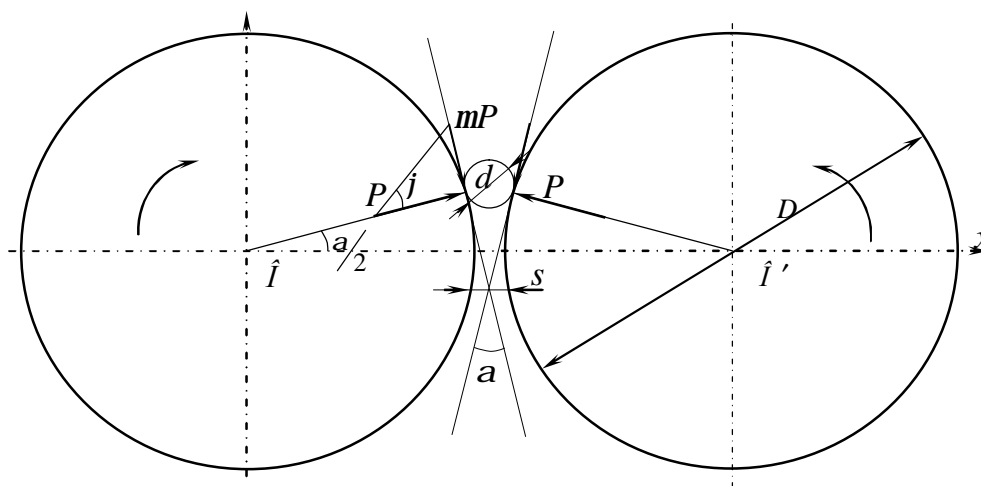


Рисунок 1 – Схема взаємодії частки з валками

При взаємодії частки діаметром  $d$  з валками діаметром  $D$  можливо два варіанти подальшого руху частки: перший – сил тертя  $mP$  буде недостатньо для подолання реакції нормальної складової дії валків на частку  $P$ , і вона буде ковзати по валкам; другий – сили тертя захватять частку і відбудеться її подрібнення. Характер взаємодії валків з часткою визначають геометричні і фізичні параметри частки і валків. Спроектувавши на вісь  $OY$  сили, які діють на частку, можливо знайти залежність між кутом захвату  $a$  і коефіцієнтом тертя  $m$  для умов переходу ковзання в захват:

$$2P \cdot \sin(a/2) - 2mP \cos(a/2) = 0,$$

$$\operatorname{tg}(a/2) = m.$$

Для визначення коефіцієнту тертя іноді використовують тангенс кута між тангенціальною і нормальною складовою  $\operatorname{tg} j$ .

Підставивши значення для коефіцієнту тертя  $m$ , отримаємо значення для кута захвату:

$$\operatorname{tg}(a/2) = \operatorname{tg} j, \quad a = 2j. \quad (1)$$

З виразу (1) можливо зробити висновок, що при одних і тих самих геометричних параметрах взаємодії валків з гірничою масою частина матеріалу з більшим значенням кута тертя буде захоплюватись, а частина залишиться у зоні контакту.

Даний ефект можливо застосувати при відділенні гірничої породи від вугілля, яке має коефіцієнт тертя у 2-3 рази менший, ніж порода.

Також, розглянувши схему взаємодії частки гірничої маси з валком (рис. 1), можливо знайти зв'язок геометричних параметрів системи:

$$D = \frac{d \cdot \left( \cos \frac{a}{2} - \frac{s}{d} \right)}{1 - \cos \frac{a}{2}}, \quad (2)$$

де  $s$  – відстань між валками.

Зробивши аналіз виразу (2), можна прийти до висновку, що для різного діаметру частки  $d$  гірничої маси необхідно застосовувати валок різного діаметру  $D$ . Але таке рішення призводить до використання валків змінного радіусу (конічної форми), що призводить до високої металоємкості і складності конструкції збагачувальної машини, високих енерговитрат на подрібнення матеріалу.

З метою усунення даних недоліків авторами були проведені експериментальні дослідження збагачення за кутом тертя з силовим видаленням породи (рис. 2).

Експериментальна установка містить в собі валки постійного діаметру з можливістю зміни міжосьової відстані і привід.

Проведені дослідження підтвердили можливість збагачення за кутом тертя з силовим видаленням породи циліндричними валками і створення нової схеми машини (рис. 3).

Важливою відмінністю нової машини є циліндричні валки 1, осі яких розташовані під кутом одна до одної.

Це дозволить змінити відстань між валками  $S$  повздовж їх довжини і, як наслідок, дозволяє обробляти гірничу масу різних розмірів на одній машині.

Зміна відстані між валками також зменшує ступінь подрібнення, що призводить до зменшення енерговитрат машини.

При аналізі роботи нової машини первинною задачею є встановлення енергосилових параметрів процесу взаємодії робочих органів з гірничою масою.

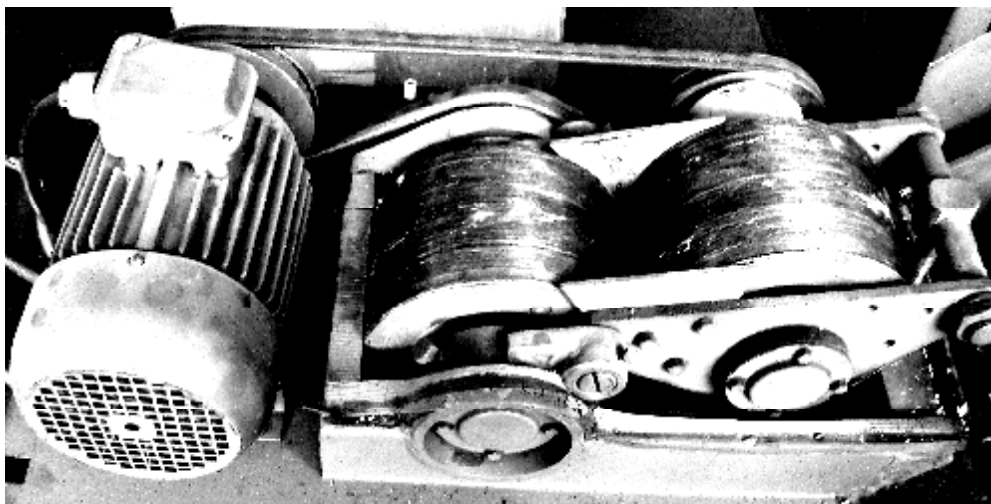


Рисунок 2 – Експериментальна установка сухого збагачення за тертям

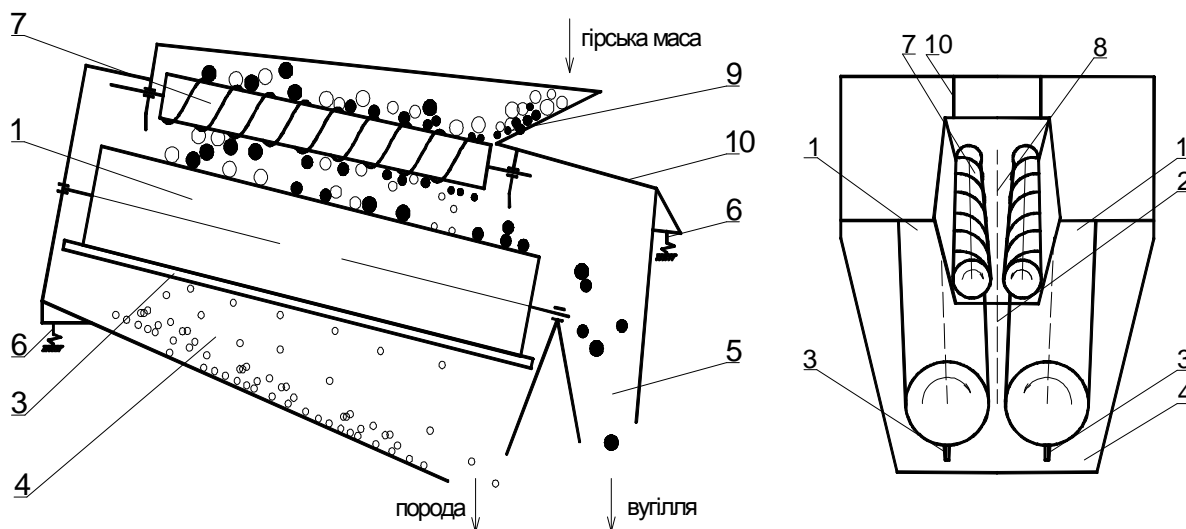


Рисунок 3 – Продольний перетин збагачувальної установки за тертям:

1 – валки; 2 – камера дроблення; 3 – очищувачі; 4, 5 – спрямовуючі лотки; 6 – амортизатори; 7 – шнековий живильник; 8 – розвантажувальна щілина; 9 – бункер; 10 – корпус установки

Цьому питанню присвячені роботи П. Ріттингера, В.Л. Кирпичова, Ф. Кіка, П.А. Ребіндера і Ф. Бонда, які встановили енергетичні витрати процесу подрібнення.

Для створення нової машини необхідно також визначення сил реакції середовища на дію робочих органів.

При взаємодії валків з середовищем можливо застосувати принципи вирішення контактних задач взаємодії валків з середовищем, які використані в теорії прокату [2].

Більшість гірських порід мають зернисту структуру, причому міжкристалічне зчеплення значно менше міцності самих зерен.

Деякі види вапняків і глини володіють пластичними властивостями. Їх руйнування при складному напруженому стані настає у випадку, коли найбільші дотичні напруження набувають значень, які відповідають межі міцності при зсуві [3].

Тому при визначенні сил реакції середовища на робочі органи машини доцільно використовувати в якості характеристики матеріалу міцність при зсуві  $t_s$ .

При рішенні контактної задачі взаємодії валків з середовищем розглядаються умови рівноваги елементарного шару матеріалу, який знаходиться між валками.

Для верхнього шару матеріалу на виділений елемент має вираз  $s_y h_y$ , де  $s_y$  – середній нормальний тиск.

Дію нижнього шару матеріалу можливо представити у вигляді –

$$(s_y + ds_y)(h_y + dh_y).$$

Умова рівноваги елементу елементарного шару матеріалу товщиною  $dy$  визначається рівнянням:

$$\sum Y = (s_y + ds_y)(h_y + dh_y) - s_y h_y - 2p_j B_x tg j dx + 2t_j B_x dy. \quad (3)$$

Рівняння (3) є вихідним для знаходження контактного тиску.

Для його рішення припускають, що в контактній зоні між робочим органом і середовищем діють сили кулонівського тертя.

Результатом рішення диференційного рівняння (3) є встановлення розподілу нормального  $p_j$  і дотичного тиску  $t_j$  по площі взаємодії валка з середовищем:

$$p(j, B_x) = \frac{2t_s tg\left(\frac{a}{4}\right)}{m} \left( \frac{m}{tg\left(\frac{a}{4}\right)} - 1 \right) \times \left( \frac{s_1 + \frac{s_2 - s_1}{B} B_x + D(1 - \cos \frac{a}{2})}{s_1 + \frac{s_2 - s_1}{B} B_x + D(1 - \cos j)} \right)^{\frac{m}{tg\left(\frac{a}{4}\right)} + 1};$$

$$t(j, B_x) = mp(j, B_x),$$

де,  $t_s$  – міцність породи при зсуві;  $m$  – коефіцієнт тертя породи по металу;  $s_1, s_2$  – відстані між валками;  $\hat{A}$  – довжина валка;  $\hat{A}_x$  – координата точки повздож валка;  $j$  – кутова координата на дузі взаємодії валка;  $D$  – діаметр валка;

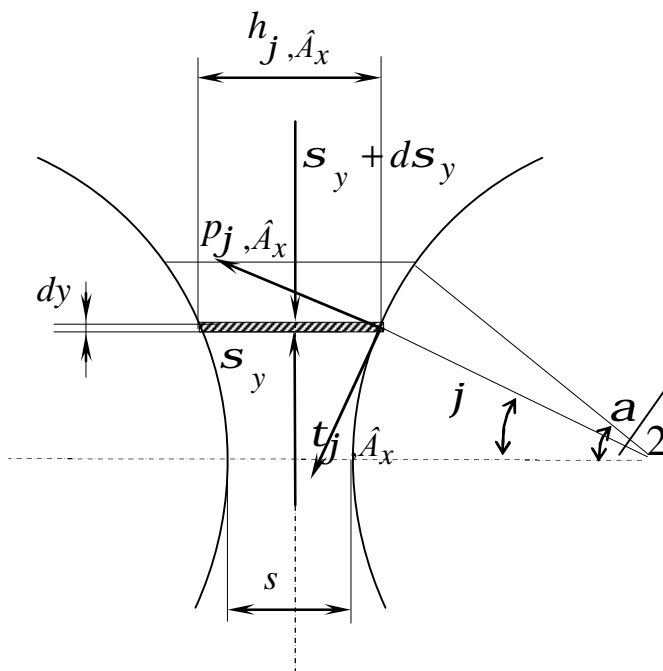


Рисунок 4 – Схема контактної взаємодії валка з середовищем

Графічно розподіл нормального тиску по площі взаємодії валка з середовищем для умов збагачення за тертям можливо представити на трьохмірному графіку (рис. 5).

Аналіз зміни тиску по дузі взаємодії показує

зменшення зростання нормального тиску, що може пояснюватись закінченням процесу подрібнення матеріалу раніше моменту кінця взаємодії породи з валком.

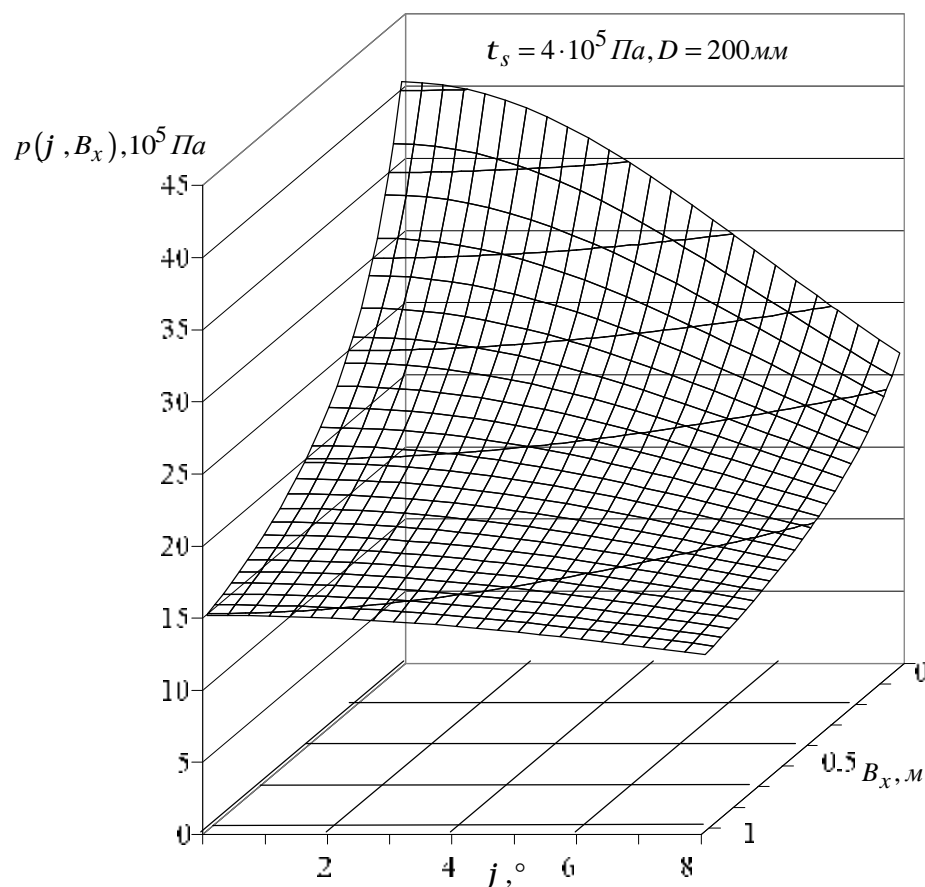


Рисунок 5 – Розподіл нормального контактного тиску по площині контакту

Також відбувається зменшення нормального тиску повздовж валка, яке пов'язане збільшенням відстані між валками і, як наслідок, зменшенням ступені подрібнення гірничої породи.

**Висновки.** Отримані залежності розподілу контактних тисків дозволять створити методіку розрахунку головних конструктивних параметрів машини шляхом визначення сил і крутних моментів дії нормальних і дотичних контактних тисків гірничої породи на робочі органи збагачувальної машини.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Самилін В., Білецький В. Спеціальні методи збагачення корисних копалин. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2003. – 116 с.
2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. – М.: Металлургия, 1980. – 318 с.
3. Александров А. В. Сопротивление материалов : учебник / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин ; под ред. А. В. Александрова. – М. : Высшая шк., 2000. – 560 с.

Стаття надійшла 16.07.2009 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Чорним О.П.