

**Список литературы:** 1. *Haines J.* The search for superhard materials: a new approach / *J. Haines, J.M. Leger* // Сверхтвердые материалы. – 1998. – № 2. – С. 3 – 9. 2. *Lowther J.E.* Symmetric structures of ultrahard materials / *J.E. Lowther* // J. Amer. Ceram. Soc. – 2002. – Vol. 85. – P. 55 – 58. 3. *Evans A.G.* Perspective on the development of high-toughness ceramics / *A.G. Evans* // J. Amer. Ceram. Soc. – 1990. – Vol. 73, № 2. – P. 187 – 206. 4. *Lutz E.H.*  $K^R$ -curve behavior of duplex ceramics / *E.H. Lutz, N. Claussen* // *ibid.* – 1991. – Vol. 74, № 1. – P. 11 – 18. 5. *Becher P.F.* Microstructural design of toughened ceramics / *P.F. Becher* // *ibid.* – 1991. – Vol. 74, № 2. – P. 255 – 269. 6. *Бакуль В.Н.* Зависимость стойкости геометрически подобных камер высокого давления от рабочего объема / *В.Н. Бакуль, А.Й. Прихна, А.В. Герасимович* // Синтетические алмазы. – 1974. – Вып. 3. – С. 3 – 8.

*Поступила в редколлегию 11.06.10*

УДК 65.011.56: 681.5.015

**М.О. КАРЧЕВСЬКА**, асистент, КНТУ, м. Кіровоград, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РУЙНУВАННЯ ТВЕРДОГО В КУЛЬОВИХ МЛИНАХ З МЕТОЮ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ**

Приведені результати дослідження руйнування твердого в кульових млинах з метою ідентифікації завантаження. Показано, що ідентифікацію завантаження кульового млина рудою слід здійснювати на певній відстані від завантажувальної горловини технологічного агрегату. На рівень сигналу пружного первинного перетворювача впливає сумарний об'єм твердого, що руйнується, і міцність руди. Розмір частинок твердого на рівень сигналу не впливає.

The results of research of destruction are resulted hard in ball mills with the purpose of authentication of load. It is rotined that it is necessary to carry out authentication of load of ball mill ore on certain distance from the load mouth of technological aggregate. On the level of signal of resilient primary transformer a total volume influences hard, which collapses, and durability of ore. The size of particles of hard on a level signal does not influence.

**Вступ.** Бідні залізні руди, які збагачують, подрібнюють в основному в кульових млинах, що споживають майже 50 % всіх енергетичних витрат, велику кількість куль і футерівки. Тому розв'язання проблеми зменшення енергетичних і матеріальних витрат спрямовані на реалізацію Державної науково-технічної програми «Ресурсозберігаючі технології нового покоління в гірничо-металургійному комплексі», затвердженої Законом України «Про основи

державної політики у сфері науки і науково-технічної діяльності», по напрямку 5.3.1 «Розробка технологій видобутку та збагачення сировинних матеріалів для металургійного виробництва, в тому числі з використанням відходів виробництва». Частинною задачею в реалізації цього напрямку є науково-дослідна робота «Комп'ютеризована система ідентифікації завантаження кульового млина при управлінні подрібненням руди (0109U007939), яка є складовою частиною тематичного плану Кіровоградського національного технічного університету.

Кульові млини першої стадії подрібнення працюють найбільш напружено. В [1] сказано, що оптимальну продуктивність подрібнюючого агрегату, при якій забезпечується максимальний вихід готового продукту, можливо отримати лише при певному завантаженні кульового млина рудою. Оскільки відомі засоби непрямого контролю даного параметра не відповідають вимогам технологічного процесу [2], проблему автоматичної оптимізації рудопідготовки доцільно розв'язувати пошуком і обґрунтуванням параметрів, що піддаються автоматичному контролю, які безпосередньо характеризують енергетичну ефективність процесу руйнування матеріалу в барабані млина. В роботах [3, 4] обґрунтовано такий підхід визначення завантаження кульового млина рудою, однак ефективність руйнування твердого вздовж барабана, вплив руйнування на отримувану інформацію і можливість її використання при управлінні процесом подрібнення матеріалу ніхто не досліджував. Тому тема статті є актуальною.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є дослідження руйнування твердого в кульових млинах з метою ідентифікації завантаження. Поставлена мета досягається в результаті теоретичного дослідження взаємодії твердого і кулі в умовах максимального завантаження матеріалу, визначення відмінностей процесу вздовж барабана та знаходження і аналізу характеристик руйнування руди при математичному моделюванні.

**Результати.** В роботі [3] показано, що об'єм зруйнованої руди падаючою з незмінної висоти кулею можна ідентифікувати за допомогою пружного перетворювача з використанням залежності

$$x = \frac{mg + \sqrt{mg(mg + 2ch) - 2ckk_1V_p}}{c}, \quad (1)$$

де  $x$  – найбільше відхилення центра перетворювача від стану спокою;  $c$  – ко-

ефіцієнт жорсткості пружного перетворювача;  $m$  – маса кулі;  $g$  – сила земного тяжіння;  $h$  – висота, з якої падає куля;  $k$  – коефіцієнт пропорціональності, що залежить від міцності матеріалу;  $k_l$  – стала, що характеризує зв'язок між загальним і деформованим об'ємом шматка матеріалу;  $V_p$  – об'єм шматка матеріалу.

Ідентифікацію об'єму руди можливо також здійснити і по різниці величини відхилення центра перетворювача без руди і з рудою, що руйнується.

По залежності (1) можливо визначати об'єм не лише одного, а і кількох шматків руди. При падінні кулі в зоні руйнування одночасно може в певних ситуаціях знаходитись один, два, три, чотири і т.д. шматків руди. Вимірювальні особливості даного підходу можливо охарактеризувати співвідношенням об'ємів зруйнованої руди  $V_{PP}$  і руди,  $V_{PT}$ , що знаходиться під тиском падаючої кулі. Як показав аналіз, це співвідношення дорівнює

$$V_d = \frac{V_{PP}}{V_{PT}} = \frac{3R_K - d_p}{3(2R_K - d_p)}. \quad (2)$$

Залежності зміни співвідношення об'ємів  $V_d$  від розміру кулі і шматків руди приведені в таблиці. За базові значення співвідношення об'ємів  $V_d$  приймалися попередні значення в ряді.

З даних таблиці видно, що відношення  $V_{PP}/V_{PT}$  змінюється порівняно в нешироких межах – від 0,507 до 0,661.

При ідентифікації об'єму руди зміна співвідношення  $V_{PP}/V_{PT}$  буде приводити до похибки.

Як видно з даних таблиці, найкращі умови ідентифікації об'єму руди складаються при подрібненні дрібного матеріалу кулями порівняно великих розмірів.

Наприклад, при руйнуванні матеріалу від 4 до 8 мм кулями з  $R_K = 50$  мм відхилення об'єму зруйнованого твердого при повному завантаженні складе всього 1,38 %.

Оскільки максимальне завантаження – це теоретичне поняття, на практиці воно буде набагато меншим і похибка буде значно меншою, якою можливо знехтувати.

Тому ідентифікацію завантаження кульового млина рудою необхідно здійснювати на певній відстані від завантажувальної горловини технологіч-

ного агрегату, оскільки по мірі віддалення від неї крупність частинок зменшується, а діаметр куль збільшується.

Таблиця

Зв'язок об'єму зруйнованого матеріалу з об'ємом твердого, що знаходиться під тиском падаючої кулі, при різних розмірах молоткових тіл і шматків руди

Параметри	Розмір шматків руди, мм					
	4	8	12	16	20	24
$R_K = 30$ мм						
$V_d$	0,5120	0,5256	0,5417	0,5606	0,5830	0,6110
$\Delta V_d, \%$	0	2,66	3,06	3,49	4,00	4,80
$R_K = 40$ мм						
$V_d$	0,5088	0,5185	0,5294	0,5417	0,5556	0,5714
$\Delta V_d, \%$	0	1,91	2,10	2,32	2,56	2,85
$R_K = 50$ мм						
$V_d$	0,507	0,514	0,523	0,532	0,542	0,553
$\Delta V_d, \%$	0	1,38	1,751	1,721	1,918	2,03

Залежність прогину центральної частини перетворювача від об'єму руди, що руйнується, досліджувалася при падінні кулі з висоти 1 м і матеріалі крупністю 5, 10, 15 і 20 мм.

Залежність сигналів перетворювача від об'єму руди, що руйнується, при різних крупностях показана на рисунку. В досліді розглядалося руйнування частинок кожної крупності від однієї до максимальної кількості.

Як видно з рисунка, прогин перетворювача не залежить від розміру частинок твердого, а залежить від сумарного його об'єму.

При зростанні сумарного об'єму твердого в зоні руйнування сигнал перетворювача зменшується.

Залежність прогину перетворювача від об'єму твердого, що руйнується, нелінійна (рисунок).

В діапазоні зміни об'єму від 0 до  $\frac{2}{3}$  найбільшого значення залежність практично лінійна.

При визначенні різниці прогинів перетворювачів діапазон зміни сигналу однаковий, але лінійність залежності дещо краща (рисунок).

Тут при зростанні об'єму твердого, що руйнується, прогин зростає.

Прямолінійність початкової ділянки залежності при малих значеннях об'єму твердого вказує на необхідність ідентифікації завантаження млина рудою не в початковій зоні, а на певній відстані від завантажувальної горло-

ВИНИ.

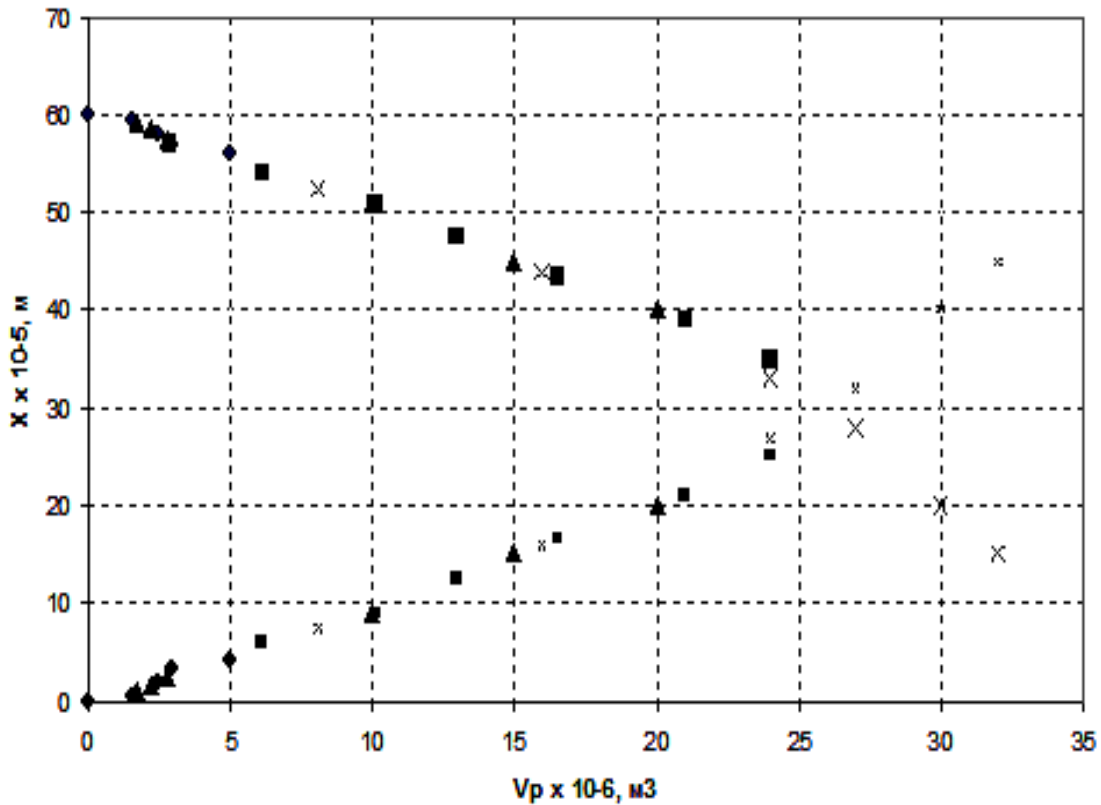


Рисунок – Залежність сигналів пружного перетворювача від об'єму руди, що руйнується, при різних крупностях твердого:  
1 – абсолютне відхилення; 2 – різниця відхилень:  
● – 5 мм; ▲ – 10 мм; ■ – 15 мм; x – 20 мм.

Відповідно рівнянню кінетики подрібнення руди в певному поперечному перерізі барабана млина будуть повторюватися ті ж закономірності, лише це буде відбуватися на більш дрібному матеріалі.

Залежності (рисунок) побудовані в широкому діапазоні зміни крупності і об'єму твердого. В реальних умовах роботи кульового млина крупність верхніх класів і об'єм крупного твердого змінюється порівняно в нешироких межах. На вихідний сигнал перетворювача не впливає крупність і впливає міцність руди.

Як видно з розглянутого, завантаження кульового млина доцільніше ідентифікувати на певній відстані від завантажувальної горловини, використовуючи різницю сигналів ідентичних за параметрами незавантаженого і завантаженого рудою перетворювача.

Нереагування перетворювача на розмір частинок твердого не є його недоліком.

Якщо роботу кульового млина налагодити на найменшу середньозважену крупність матеріалу в контрольованому перерізі при найменшій міцності твердого, тобто за цих умов забезпечити найбільшу можливу концентрацію крупного твердого, то при збільшенні крупності руди сигнал перетворювача зростає.

Одночасно це буде свідчити про перевантаження.

Зменшивши сигнал перетворювача до попереднього значення, ліквідуємо тенденцію до створення перевантаження.

Якщо в номінальному стані зростає міцність руди, то також створяться умови для виникнення перевантаження.

Однак при цьому одночасно зростає і сигнал перетворювача.

Зменшивши сигнал перетворювача до номінального значення, ліквідуємо загрозу виникнення перевантаження.

### **Висновки.**

Найкращі умови ідентифікації об'єму руди складаються при подрібненні дрібного матеріалу кулями більш великих розмірів, що відповідає умовам контролю на певній відстані від завантажувальної горловини млина.

На рівень сигналу перетворювача впливає сумарний об'єм і міцність твердого, і не впливає розмір частинок, однак це не виступає перепорою, а, навпаки, сприяє організації керування завантаженням кульового млина рудою.

Перспективою подальших розробок в даному напрямі є створення промислового пристрою ідентифікації завантаження кульового млина рудою з використанням показників енергетичної ефективності руйнування матеріалу.

**Список літератури:** 1. *Бонч-Бруевич А.М.* Бесконтактные элементы самонастраивающихся систем / *А.М. Бонч-Бруевич, В.Л. Быков, П.И. Чинаев.* – М.: Машиностроение, 1967. – 292 с. 2. *Пивняк Г.Г.* Измельчение. Энергетика и технология: учебное пособие для вузов / [*Г.Г. Пивняк, Л.А. Вайсберг, В.И. Кириченко и др.*]. – М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2007. – 296 с. 3. *Кондратець В.О.* Теоретичне дослідження системи з падаючим тілом при ідентифікації зразків твердого / *В.О. Кондратець, М.О. Карчевська* // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2010. – № 40. – Ч. 1. – С. 142 – 150. 4. Патент на корисну модель № 45414 Україна, МПК В02С 25/00. Спосіб ідентифікації завантаження кульового млина рудою / *Кондратець В.О., Карчевська М.О.*; заявник та патентовласник Кіровоградський нац. техн. ун-т. – № у 200905505; заявл. 01.05.2009; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21.