

В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, М.О. Карчевська, ас.
Кіровоградський національний технічний університет

Теоретичне дослідження взаємодії первинних перетворювачів завантаження кульового млина рудою з молольними тілами

У статті приведені результати дослідження взаємодії первинних перетворювачів завантаження кульового млина рудою з молольними тілами. Встановлено, що взаємодія торців первинних перетворювачів і куль є випадковим процесом. Знайдена імовірність попадання кулі в торець перетворювача, що пропорційнальна відношенню куба діаметра торця перетворювача до квадрата діаметра кулі. Її ще наближено можна подати як відношення числа попадань до числа випробувань. Оцінка цієї імовірності у даних умовах показала, що надійній імовірності 0,997 відповідає інтервал 0,00021...0,00135, який, наприклад при 10000 випробувань, гарантує не менше 2 і не більше 13 попадань кулі у торець перетворювача. Певне число випробувань визначається кількістю обертів барабана млина або часом його роботи. Встановлено, що за 240 с число попадань кулі в торець основного перетворювача буде дорівнювати п'яти. За інтервал часу 960 с гарантовано відбудеться одне попадання кулі в додатковий перетворювач. Такі тимчасові інтервали цілком задовольняють практику.

основний, додатковий первинний перетворювач, торець, кулі, взаємодія, кульовий млин, завантаження, випадковий процес, імовірність попадання

Подрібнення руд класів 0...25 мм перед збагаченням здійснюють в кульових млинах, які є організаційно-технічними об'єктами з великою енергоємністю, витратами молольних тіл і футерівки. У даний час відсутні достатньо ефективні засоби ідентифікації завантаження цих організаційно-технічних об'єктів рудою, що примушує їх експлуатувати в режимі недовантаження і нести значні збитки, які полягають у перевитрачанні електричної енергії, куль і футерівки з одночасним недоотриманням значної кількості готового продукту. За таких умов не здійснюється передбачений законодавством України напрям реалізації ресурсозберігаючих технологій в промисловості. Тому тема статті, присвяченої ідентифікації завантаження кульового млина рудою, є актуальною. Матеріали даної статті являють собою частину результатів наукових досліджень, отриманих в процесі виконання науково-дослідної роботи «Комп'ютеризована система ідентифікації завантаження кульового млина при управлінні подрібненням руди» (державний реєстраційний номер 0109U007939).

Розв'язанням задачі завантаження кульових млинів з циркулюючим навантаженням рудою тривалий час займаються як вітчизняні, так і зарубіжні вчені та практики. В Україні в різні роки дану задачу розв'язують А.Г. Астахов, М.В. Федорівський, В.О. Бунько, О.М. Марюта, Ю.Г. Качан, Є.В. Кочура, А.С. Давидкович та ін. Найбільш широке

© В.О. Кондратець, М.О. Карчевська, 2010

розповсюдження отримали звукометричні засоби контролю завантаження кульових млинів рудою, однак технологічний параметр вони визначають недостатньо точно. На ці та інші засоби сильний вплив здійснюють молольні тіла, пульпа, що знаходиться в барабані, стан самого барабана та інші фактори. Тому в роботі [1] сказано, що дану проблему необхідно розв'язувати в напрямку пошуку та обґрунтування засобів автоматичного контролю параметрів, які безпосередньо характеризують енергетичну ефективність процесу руйнування матеріалу в барабані млина. Такий підхід ідентифікації завантаження кульового млина запропоновано в [2], однак взаємодію первинного перетворювача з кулями ніхто не вивчав.

Метою даної роботи є дослідження взаємодії первинних перетворювачів стержневого типу з молольними тілами в умовах визначення завантаження кульового млина рудою.

Система ідентифікації завантаження кульового млина рудою містить два стержневих перетворювача, що встановлюються поряд радіально, проходячи через отвір у футерівці. Хвостовики первинних перетворювачів виходять за поверхню барабана млина, де знімається корисна інформація. При наявності шматків крупної руди частина енергії падаючої кулі витрачається на їх руйнування і сигнал помітно ослабляється. Ослаблення сигналу визначається об'ємом крупних шматків руди на торці первинного перетворювача. Система ідентифікації завантаження кульового млина рудою містить два стержневих перетворювача – основний з більшим і додатковий з меншим діаметром робочої частини стержня. Вимірювання відбудеться лише за умови попадання падаючої кулі в торець стержневого перетворювача.

Взаємодія торця стержневого перетворювача з кулями при обертанні барабана кульового млина являє собою випадковий процес. Швидкість обертання барабана млина дорівнює [3]

$$n = \psi n_{кр} = \psi \frac{42,3}{\sqrt{D}}, \text{ об/хв} \quad (1)$$

де $n_{кр}$ - критична швидкість обертання барабана, що залежить від внутрішнього діаметра D барабана і дорівнює $42,3/\sqrt{D}$.

При рівномірному розташуванні куль по перерізу барабана в точці відриву молольних тіл від футерівки на параболічну траєкторію переводиться наступна кількість куль в одиницю часу

$$n_{вк} = \frac{\pi n}{60} \cdot \frac{D}{d_k}, \text{ куль/с.} \quad (2)$$

У промислових умовах кульові млини працюють при значенні $\psi = 0,7 \dots 0,8$, що відповідає трифазовому руху зовнішнього шару куль [4]. Зважаючи на те, що при трифазовому контурі зовнішнього шару молольного навантаження тривалість циклу його руху не змінюється [5], по закінченню попереднього і початку нового циклу по довжині кола поперечного перерізу при обертанні барабана кулі розташовуються в порядку їх надходження на кінцевій ділянці траєкторії.

Торець стержневого перетворювача центральною частиною встановлюється в певному середньому поперечному перерізі барабана кульового млина. Кулі по траєкторіям руху розташовуються довільно, але зміщуватися вільно вони не можуть, зважаючи на щільне розташування сусідніх молольних тіл. При обертанні барабана кулі «бомбардують» футерівку в нижній зоні. За таких умов координати ударів куль по виділеній зоні відповідають закону рівномірної щільності [6], якщо розглядати відхилення вздовж барабана млина l . Аналіз показує, що відхилення можуть здійснюватися в межах діаметра кулі d_k , а зона торця стержневого перетворювача буде обмежена його діаметром d_{II} (рис. 1). Імовірність попадання кулі, координати якої розподілені по закону рівномірної щільності, на ділянку торця перетворювача, що є частиною загальної ділянки, являє собою площу, заштриховану на рис. 1. Дана імовірність дорівнює [6]

$$P_T = \frac{d_{II}}{d_k}. \quad (3)$$

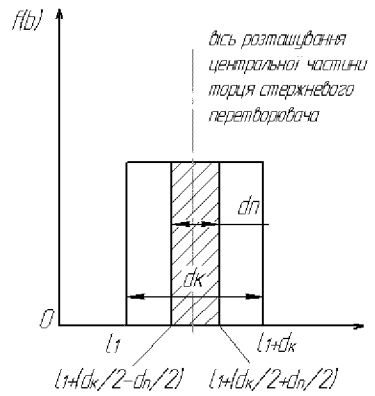


Рисунок 1 - Ділянка з розподілом по закону рівномірної щільності з виділеною в ній ділянкою торця перетворювача

Імовірність P_T можна подати через кульові потоки як

$$P_T = \frac{n_{\text{вкт}}}{n_{\text{вк}}}, \quad (4)$$

де $n_{\text{вкт}}$ - продуктивність кульового потоку, що діє в зоні торця стержневого перетворювача.

З рівнянь (2), (3) і (4) визначимо продуктивність кульового потоку, що діє в зоні торця стержневого перетворювача

$$n_{\text{вкт}} = \frac{\pi n}{60} \cdot \frac{d_{\text{п}} D}{d_{\text{к}}^2}. \quad (5)$$

Кулі, що «бомбардують» зону торця стержневого перетворювача, будуть наносити удари через певну відстань одна від одної по дузі кола барабана. Математичне сподівання відстані між точками нанесення ударів кулями можна визначити як відношення $m_S = v_{\text{л}} / n_{\text{вкт}}$, де $v_{\text{л}}$ - лінійна швидкість руху точок футерівки при обертанні барабана. Її можна визначити

$$v_{\text{л}} = \pi n D = \frac{\pi n}{60} D, \text{ м/с}. \quad (6)$$

З врахуванням (5) і (6) математичне сподівання відстані між точками нанесення ударів кулями буде дорівнювати

$$m_S = \frac{d_{\text{к}}^2}{d_{\text{п}}}. \quad (7)$$

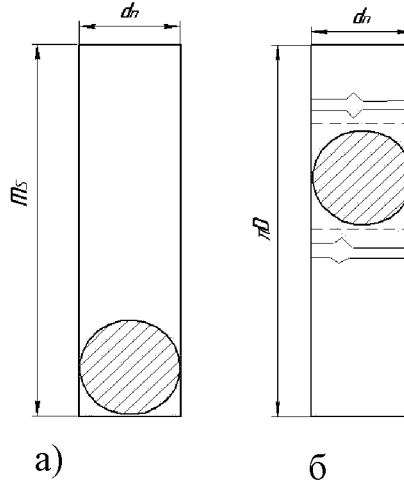
Всі ці кулі будуть діяти по ширині простору, що охоплює торець стержневого перетворювача. Кожну ділянку (рис. 2, а) по довжині кола перерізу барабана (рис. 2, б) можна подати як таку, що складається з прямокутника довжиною m_S , шириною d_n і розміщеним в ньому кругом торця стержневого перетворювача (рис. 2). Ця область зображена умовно, оскільки перетворювач реально існує тільки на одній такій ділянці (рис. 2, б). Однак таке подання є справедливим, зважаючи на те, що в мить проходження перетворювача в зоні, де кулі рухаються по прямій буде виникати саме така взаємодія системи «торець перетворювача – куля». У даному випадку імовірність удару кулі по торцю перетворювача можна визначити як відношення мір [7]. Імовірність попадання кулі в торець перетворювача дорівнює відношенню площ торця до всієї області, тобто

$$P_{III1} = \frac{\pi \cdot d_{II}}{4 \cdot m_s} \quad (8)$$

З врахуванням (7) вираз (8) подамо у вигляді

$$P_{III1} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d_{II}^2}{d_k^2} \quad (9)$$

При надходженні перетворювача в зону дії куль, що рухаються по похилій прямій до футерівки, імовірність попадання кулі в торець буде визначатися виразом (9).



а – елементарна область; б – повна область

Рисунок 2 - Умовне подання області футерівки, що «бомбардується» кулями при обертанні барабана на ділянці встановлення перетворювача

Для забезпечення зіткнення кулі з перетворювачем необхідно, щоб останній опинився в зоні кульового млина, де молотні тіла зовнішнього шару рухаються по нахиленій прямій до футерівки. Імовірність появи перетворювача в зоні дії куль визначимо аналогічно [7] як відношення площі торця перетворювача до всієї площі футерівки, зв'язаної по кільцю барабана з чутливим елементом (рис. 2, б)

$$P_{III} = 0,25 \cdot \frac{d_{II}}{D} \quad (10)$$

Поява перетворювача в зоні дії куль і попадання кулі в його торець є незалежними подіями. В той же час обидві вони визначають можливість зіткнення кулі і перетворювача. Оскільки ці події незалежні, то імовірність попадання кулі в торець перетворювача визначиться добутком знайдених імовірностей [8]

$$P_{III} = P_{III1} \cdot P_{III} = \frac{\pi}{16D} \cdot \frac{d_{II}^3}{d_k^2} \quad (11)$$

Аналіз залежності (11) показує, що імовірність P_{III} достатньо мала за величиною. Її ще можна наближено виразити як відношення кількості попадань кулі в торець перетворювача N_{II} до числа випробувань N_n , тобто

$$P_{ПТН} = N_{П} / N_n \quad (12)$$

Число випробувань у даному випадку можна виразити як

$$N_n = n_{вкТ} \cdot T = \frac{\pi}{60} \cdot \frac{d_{П} D}{d_{\kappa}^2} T, \quad (13)$$

де T – довільний відрізок часу.

З врахуванням (13) вираз (12) можливо подати у вигляді

$$P_{ПТН} = \frac{N_{П}}{\pi d_{П} D T / 60 d_{\kappa}^2}. \quad (14)$$

Імовірність випадкової події є число, що об'єктивно характеризує можливість її появи при даному комплексі умов. Це стосується виразу (11), оскільки він теоретично об'єктивно отриманий. Стосовно виразу (12) цього сказати не можливо, враховуючи те, що він являє собою відносну частоту даної події з розподілом імовірностей, центром якого є імовірність $P_{ПТ}$ (11). З теорії імовірностей відомо, що у випадку N_n – кратного повторення випробування, якщо випадкова подія відбувалася $N_{П}$ разів, то відношення $N_{П} / N_n$ буде частинним, дослідним значенням відносної частоти. При достатньо великому N_n можливо бути практично впевненим у виконанні наближеної рівності

$$N_{П} / N_n \approx P_{ПТ} \quad (15)$$

з будь-якою наперед заданою точністю [8]. На практиці це проявляється в тому, що значення $N_{П} / N_n$ відносної частоти володіє стійкістю. При конкретних значеннях N_n точність наближеної рівності (15) потребує оцінки [8].

Знайдемо оцінку дослідної імовірності $P_{ПТН}$. Оскільки центром розподілу імовірності попадання кулі в торець перетворювача є число $P_{ПТ}$ (11), будемо його рахувати за експериментально знайдене значення. Визначимо за (11) значення $P_{ПТ}$ для умов кульового млина з $D = 4,0$ м, $d_{\kappa} = 50$ мм, $d_{П} = 0,6d_{\kappa} = 30$ мм. Воно буде дорівнювати $P_{ПТ} = 0,0003$. Будемо визначати надійні межі з рівнем імовірності, що дорівнює $P = 0,997$. Для $P = 0,997$ параметр $t_{0,997} = 3$ [9]. Для визначення надійних інтервалів невідомої імовірності застосуємо найбільш розповсюджений підхід, викладений в [9]. Він забезпечує задовільні результати при $N_n P_{ПТ} q > 9$, де $q = 1 - P_{ПТ}$. Даній умові задовольняє випадок при $N_n = 18000$, коли $N_n P_{ПТ} q = 9,54$.

У даному методі межові імовірності мають значення [9]

$$P_1(P_{ПТН}, N_n) = \frac{2N_n P_{ПТН} + t_p^2 - t_p \sqrt{D}}{2(N_n + t_p^2)}; \quad (16)$$

$$P_2(P_{ПТН}, N_n) = \frac{2N_n P_{ПТН} + t_p^2 + t_p \sqrt{D}}{2(N_n + t_p^2)}, \quad (17)$$

де $D = 4N_n P_{ПТН} (1 - P_{ПТН}) + t_p^2$.

При прийнятій кількості випробувань $D = 47,14$, а $P_1(P_{ПТН}, N_n) = 0,00021$, $P_2(P_{ПТН}, N_n) = 0,00135$.

Отже, надійній імовірності $P = 0,997$ у даному випадку відповідає інтервал $0,00021 < P_{ПТН} < 0,00135$.

Знайдений надійний інтервал показує, що з 10000 випробувань буде не менше 2 і не більше 13 попадань кулі у торець перетворювача. Виходячи з того, що імовірність $P_{ПТ}$ знайдена теоретично точно, слід рахувати, що це не її оцінка і можливо визначити вираз для знаходження кількості попадань кулі у торець перетворювача. З врахуванням рівності (11) і (13), (15) число попадань буде дорівнювати

$$N_n = \frac{\pi^2 n}{960} \cdot \frac{d_{П}^4}{d_{к}^4} T, \quad (18)$$

де n – швидкість обертання барабана млина, об/хв.;

T – довільний інтервал часу, с.

У рівнянні (18) довільний інтервал часу T необхідно приймати таким, щоб забезпечувалась достатньо велика кількість випробувань. Його можна встановити з наступних міркувань. При 16,5 об/хв барабана кульового млина з $D = 4$ м, $d_{П} = 30$ мм, $d_{к} = 50$ мм продуктивність кульового потоку, що діє в зоні торця стержневого перетворювача, $n_{вкм} = 41,448$ куль/с. Число випробувань можливо взяти наближено 10000. Тоді тимчасовий інтервал можна прийняти $T = 240$ с. За цей час барабан здійснить 66 обертів, а число попадань кулі в торець стержневого перетворювача буде дорівнювати $N_{П} = 5$. Такий тимчасовий інтервал можливо прийняти для обробки сигналів перетворювача, оскільки агрегат інерційний і за 4 хвилини в ньому не може відбутися суттєвих змін.

Рівняння (18) також дозволяє знайти тимчасовий інтервал для обробки сигналів додаткового стержневого перетворювача. При діаметрі додаткового стержневого перетворювача $d_{П} = 15$ мм і прийнятих останніх параметрах за 960 с (16 хв) гарантовано відбудеться одне попадання кулі в його торець. Оскільки цей сигнал несе інформацію лише про умови роботи куль у млині, такий тимчасовий інтервал цілком задовольняє практику. Дані сигнали можливо осереднювати і за більш тривалий відрізок часу зважаючи на те, що режим у кульовому млині швидко не змінюється.

Таким чином, враховуючи інерційність технологічного агрегату і неможливість суттєвих змін його стану за достатньо тривалий час, сигнали основного і додаткового перетворювачів слід фіксувати в тимчасових проміжках 240 і 960 с.

На підставі проведених теоретичних досліджень відкривається перспектива розробки системи зчитування показань з датчиків завантаження кульового млина рудою з наступним керуванням режиму роботи технологічного агрегату.

Список літератури

1. Измельчение. Энергетика и технология: учебн. пособ. для вузов/[Г.Г. Пивняк, Л.А. Вайсберг, В.И.Кириченко и др.]/ - М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2007. – 296 с.
2. Пат. на корисну модель 45414 Україна, МПК В 02 С 25/00. Спосіб ідентифікації завантаження кульового млина рудою /Кондратець В.О., Карчевська М.О.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - №u200905505; заявл. 01.06.09; опубл. 10.11.09, Бюл. №21.
3. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / Андреев С.Е., Зверевич В.В., Перов В.А. – М.: Недра, 1966. – 396 с.
4. Маляров П.В. Основы интенсификации процессов рудоподготовки: [монография] / Маляров П.В. – Ростов-на-Дону: ООО «Ростиздат», 2004. – 320 с.
5. Шинкоренко С.Ф. Гидромеханика рабочей среды шаровых мельниц мокрого измельчения / С.Ф. Шинкоренко // Горный журнал. – 2002. – №7. – С.19 – 24.

6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей /Вентцель Е.С. – М.: Наука. Гл.ред. физ.-мат.лит., 1969. – 576 с.
7. Каневский З.М. Вероятностные задачи в радиотехнике / Каневский З.М. – М. – Л.: Энергия, 1966. – 174 с. (Библиотека по радиоэлектронике. Вып. 3).
8. Румшицкий Л.З. Элементы теории вероятностей. Избранные главы высшей математики для инженеров и студентов втузов / Румшицкий Л.З. – М.: Наука. Гл.ред. физ.-мат.лит., 1966. – 156 с.
9. Смирнов Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений/Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – М.:Наука. Гл.ред. физ.-мат.лит., 1969.–512 с.

В. Кондратец, М. Карчевская

Теоретическое исследование взаимодействия первичных преобразователей загрузки шаровой мельницы рудой с мелющими телами

В статье приведены результаты исследования взаимодействия первичных преобразователей загрузки шаровой мельницы рудой с мелющими телами. Установлено, что взаимодействие торцов первичных преобразователей и шаров является случайным процессом. Найдена вероятность попадания шара в торец преобразователя, которая пропорциональна отношению куба диаметра торца преобразователя до квадрата диаметра шара. Её еще приближенно можно подать как отношение числа попаданий к числу испытаний. Оценка этой вероятности в данных условиях показала, что надежной вероятности 0,997 соответствует интервал 0,00021...0,00135, который, например при 10000 испытаний, гарантирует не менее 2 и не более 13 попаданий шара в торец преобразователя. Определенное число испытаний определяется количеством оборотов барабана мельницы или временем ее работы. Установлено, что за 240 с число попаданий шара в торец основного преобразователя будет равно пяти. За промежуток времени 960 с гарантировано состоится одно попадание шара в дополнительный преобразователь. Такие временные промежутки полностью удовлетворяют практику.

V. Kondratec, M. Karchevskaya

Theoretical research of interaction of primary converters of loading of a spherical mill by ore with grindings bodies

In the article the results of research of interaction of primary converters of loading of a spherical mill by ore with grindings bodies are given. The probability of hit of a sphere in an end face of the converter is found which is proportional to the attitude of a cube of a diameter of an end face of the converter up to a square of a diameter of a sphere. Its still approximately it is possible to submit as the attitude of number of hits to number of tests. The estimation of this probability in the given conditions has shown, that to reliable probability 0,997 there meets an interval 0,00021...0,00135, which, for example at 10000 tests, guarantees not less than 2 and no more than 13 hits of a sphere in an end face of the converter. The certain number of tests is determined by quantity of revolutions of a drum of a mill or time of its job. Is established, that for 240 about number of hits of a sphere in an end face of the basic converter will be equal to five. For an interval of time 960 with is guaranteed one hit of a sphere in the additional converter is held. Such temporary intervals completely satisfy practice.

Одержано 21.01.10