

устойчивости процесса автобалансировки ротора шарами путем численного решения уравнений движения // *Механика и машиностроение*. – 2000. – №1. – С. 123–127. 6. Филимоныхин Г.Б. Зрівноваження і віброзахист роторів автобалансирами з твердими коригувальними вантажами. – Кіровоград, 2004. 7. *Вибрации в технике: Справочник*. Том 3. – М., 1978. 8. Кельзон А.С., Журавлев Ю.Н., Январев Н.В. *Расчет и конструирование роторных машин*. – Л., 1977. 9. Кельзон А.С., Циманский Ю.П., Яковлев В.И. *Динамика роторов в упругих опорах*. – М., 1982.

УДК 621. 455

Л.Ж. ГОРОБЕЦЬ, І.В. ВЕРХОРОБІНА, Н.С. ПРЯДКО, Г.О. СТРЕЛЬНИКОВ

Національний гірничий університет, м. Дніпропетровськ

ЗАСТОСУВАННЯ АКУСТОЕМІСІЙНОГО МОНІТОРІНГУ ЩОДО СТРУМЕНЕВОГО ПОДРІБНЕННЯ

© Горобець Л.Ж., Верхоробіна І.В., Прядко Н.С., Стрельников Г.О., 2006

Отримано результати експериментальних досліджень акустичної активності газоструминного млина. Відносна зміна інтенсивності акустичної емісії в характерному діапазоні частот залежно від завантаження млина матеріалом пропонується використовувати для оптимізації струминного подрібнювання.

The experimental researches results of jet mills acoustic activity are received. A relative intensity change of acoustic emission in a characteristic range of frequencies according to a mill loading by material is offered to use for jet crushing optimization

У роботах [1,2] встановлено зв'язок показників подрібнювання з акустоемісійними характеристиками гетерогенних матеріалів при руйнуванні обсягу й поверхні модельних зразків. З позицій нових наукових положень у теорії подрібнювання [1,3] можливе використання закономірностей акустичного випромінювання при руйнуванні для прогнозування оцінки показників здрибнювання. Провідну роль відіграють характеристики акустичної емісії (АЕ) на стадії деформування за межею міцності зразка, що руйнується [1, 4].

У зв'язку з високими витратами енергії на одержання тонкодисперсних продуктів із твердих сипких матеріалів актуальне застосування акустоемісійного моніторингу подрібнювання для встановлення раціональних або енергетично вигідних режимів обробки. Першорядне завдання полягає в аналізі можливостей і умов застосування такого моніторингу на підставі зв'язку технологічних показників і акустичних параметрів подрібнювання.

Перспективним подрібнювальним пристроєм в галузі тонкого й надтонкого подрібнювання є газоструминна подрібнювальна установка, що реалізує режими високодинамічної імпульсної обробки матеріалу, що подрібнюється. Це дає змогу досягти високого рівня дисперсності (...10мкм) з питомою поверхнею близько 0,5...2...2 м²/г за питомої витрати енергії 200...1200Дж/м² [1, 5, 6]. У робочому процесі подрібнювання поєднано з поділом згідно із розміром часток, осадженням готового продукту, очищенням від пилу енергоносія, що відпрацював. Дослідженнями й досвідом експлуатації струминних установок показана доцільність використання цієї технології для доведення до мікропорошків синтетичних діамантів, рідинно-металевих концентратів, кварцового піску, карбідів кремнію й бору, шлаків, гіпсу, цементного клінкеру тощо.

Швидкість навантаження часток, що подрібнюються в надзвукових струменях, близька до швидкості авторезонансу, при якій досягається гранична швидкість перебудови кристалічних ґраток речовини [1,4]. Це відповідає умові досягнення максимального значення коефіцієнта трансформації набутої речовиною енергії в акустичну енергію, що забезпечує максимальне значення ефективності диспергування. Порядок оптимальної частоти імпульсів, що навантажуються, можливо встановити АЕ-моніторингом в експериментах об'ємного руйнування модельних зразків за спеціальною програмою й методикою [1, 7, 8].

У роботі виконано випробування й аналіз застосування акустоемісійного моніторингу для контролю ефективності роботи промислового струминного млина при подрібнюванні шлаків у керамічному виробництві. Дослідження були виконані з метою розроблення на першому етапі раціональної схеми контролю роботи газоструминного млина, а на наступному етапі – системи керування подрібнюванням, зокрема кількістю і якістю подрібнюваного продукту. Це особливо важливо при одержанні сировинного компонента керамічної лицювальної плитки для унеможливлення одержання браку, що ймовірно при додаванні навіть малої кількості некондиційної фракції (більше за 60 мкм). У цьому зв'язку здійснення АЕ-моніторингу струминного подрібнювання доцільно й перспективно.

Експерименти виконанні в умовах Волгоградського керамічного заводу. Розроблена методика передбачала реєстрацію звукових тисків акустичних сигналів досліджуваного млина (поблизу помельної камери й інжекторів) з метою виявлення спектра акустичних сигналів у технологічному процесі незавантаженого матеріалом млина. Далі досліджувалася акустична активність струминного млина при зміні кількості матеріалу, що подається на подрібнювання. Це змінювало ступінь завантаженості струменів енергоносія твердою фазою й, як наслідок, ефективність подрібнювання. Режимні параметри струменів енергоносія підтримувалися однаковими: температура газу $T=723^{\circ}\text{C}$, тиск на вході розгінного каналу $P=0,25\text{МПа}$. Режим завантаження матеріалом пневмотранспортної системи установки контролювався згідно із розміром розрідження N_n на виході із зони млина. У кожний момент, що відповідає виміру інтенсивності звукових сигналів, виконувалися: реєстрація розрідження N_n у стояку на виході з помельної камери й зважування готового продукту з оцінкою продуктивності млина. Відомо [1,5], що взаємозалежність цих параметрів має явно виражений екстремальний характер. В оптимальному режимі подрібнювання продуктивність млина щодо готового продукту становила 1,3 т/ч за його дисперсності менше за 60 мкм.

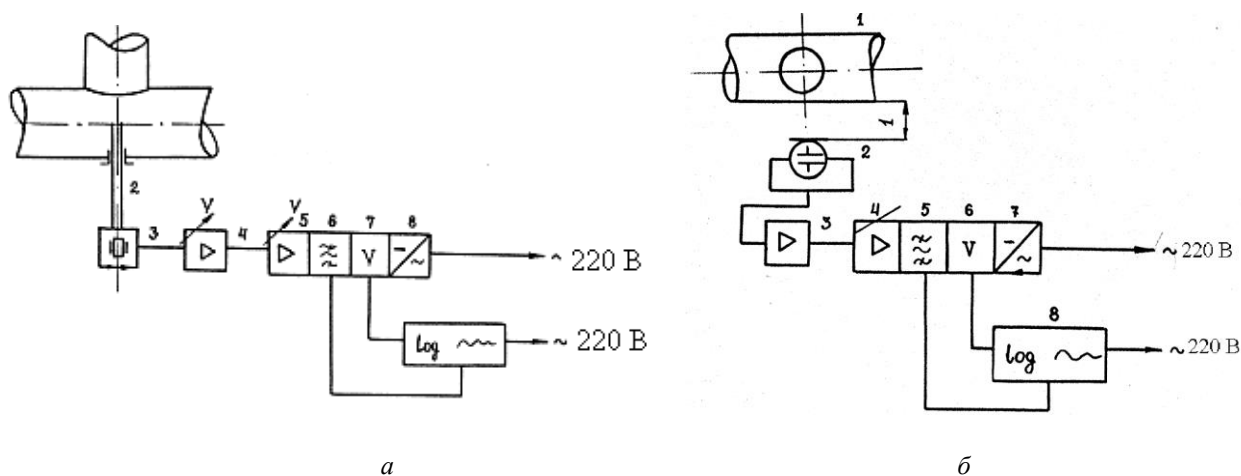


Рис. 1. Блок-схема вимірів акустичної активності газоструминної подрібнювальної установки

Акустична активність струминного млина визначалася як зовнішня – на відстані 0,5 і 0,25 метрів від корпусу помельної камери й окремих елементів млина (інжектори, стояк), так і внутрішня – усередині помельної камери. На рис. 1 показано блок-схеми виміру акустичної активності (а – внутрішнього шуму, б – зовнішнього шуму) подрібнювальної установки з використанням апаратури фірм “Брюль і Кьєр” (Данія) і “Роботрон” (Німеччина). При вимірах зовнішньої активності млина давачем служив мікрофон МК202 (2) з посилювачем МК3019 (3). Вимірювання внутрішньої активності млина виконувалося за допомогою латунного хвилеводу(2) діаметром 22 мм і довжиною 500 мм, один кінець якого вводився через сальниковий пристрій в середину помельної камери (1), тоді як другий кінець було з’єднано з давачем (3) сигналів акустичної емісії (АЕ) розробки Бовенко В.Н. [9] (ДНТУ ім. Баумана, м. Москва). Побудову діаграм акустичної активності у функції середньгеометричних частот здійснено за допомогою самописа рівня 2305 (8) (у роботах брали участь Бовенко В.Н. і Чигиринський С.Е).

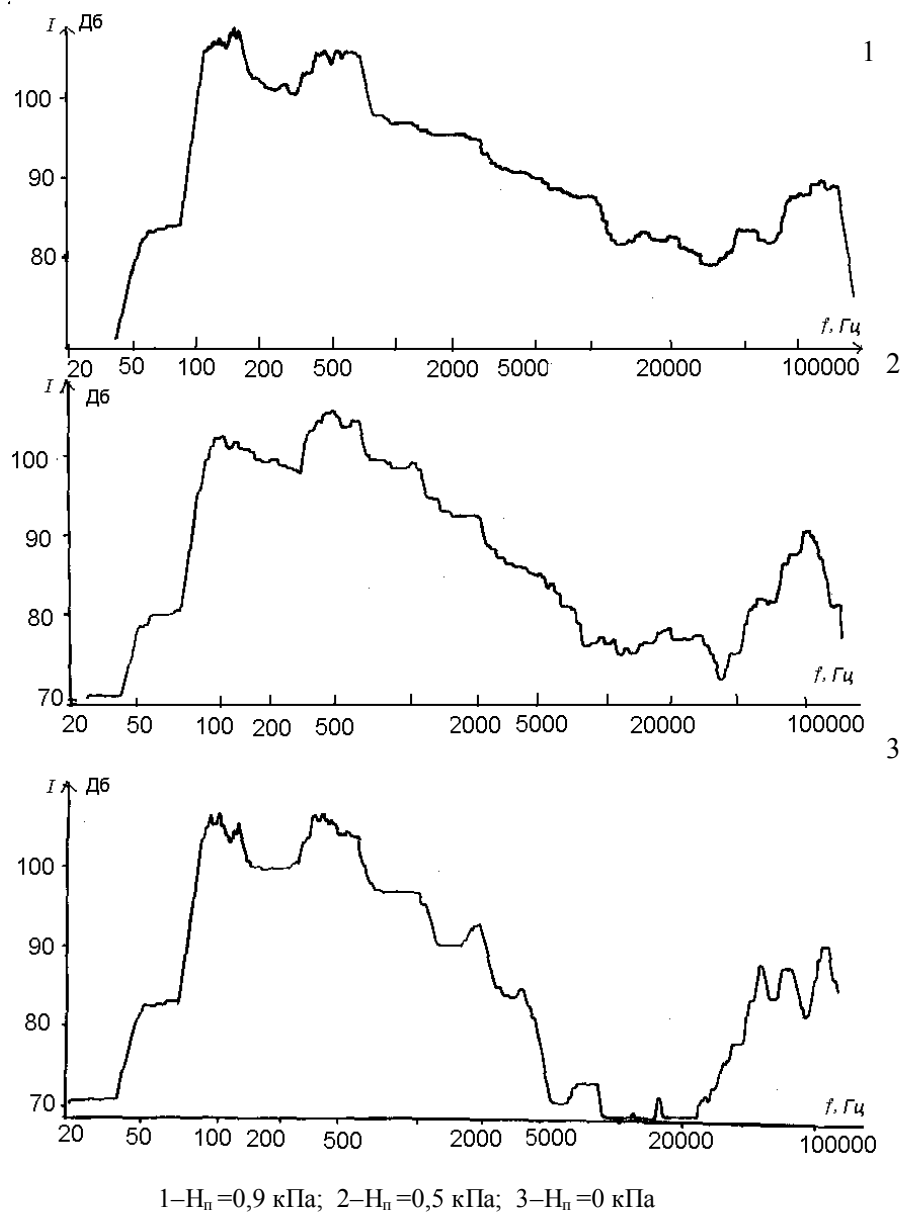


Рис. 2. Амплітудно-частотні характеристики внутрішньої акустичної активності газоструминної установки

Відповідно до методики на початку випробувань оцінювалася акустична активність сигналів млина з метою виключення діапазону звукових тисків сигналів сусідніх із млином технологічних апаратів і витяжного вентилятора досліджуваної газоструминної установки, а потім було виконано випробування млина в режимах: неробочого ходу; при 50% завантаженні матеріалом; при завантаженні, що відповідає максимальній продуктивності за готовим продуктом; при східчастому завантаженні; у безперервному режимі, що відповідає технологічному процесу.

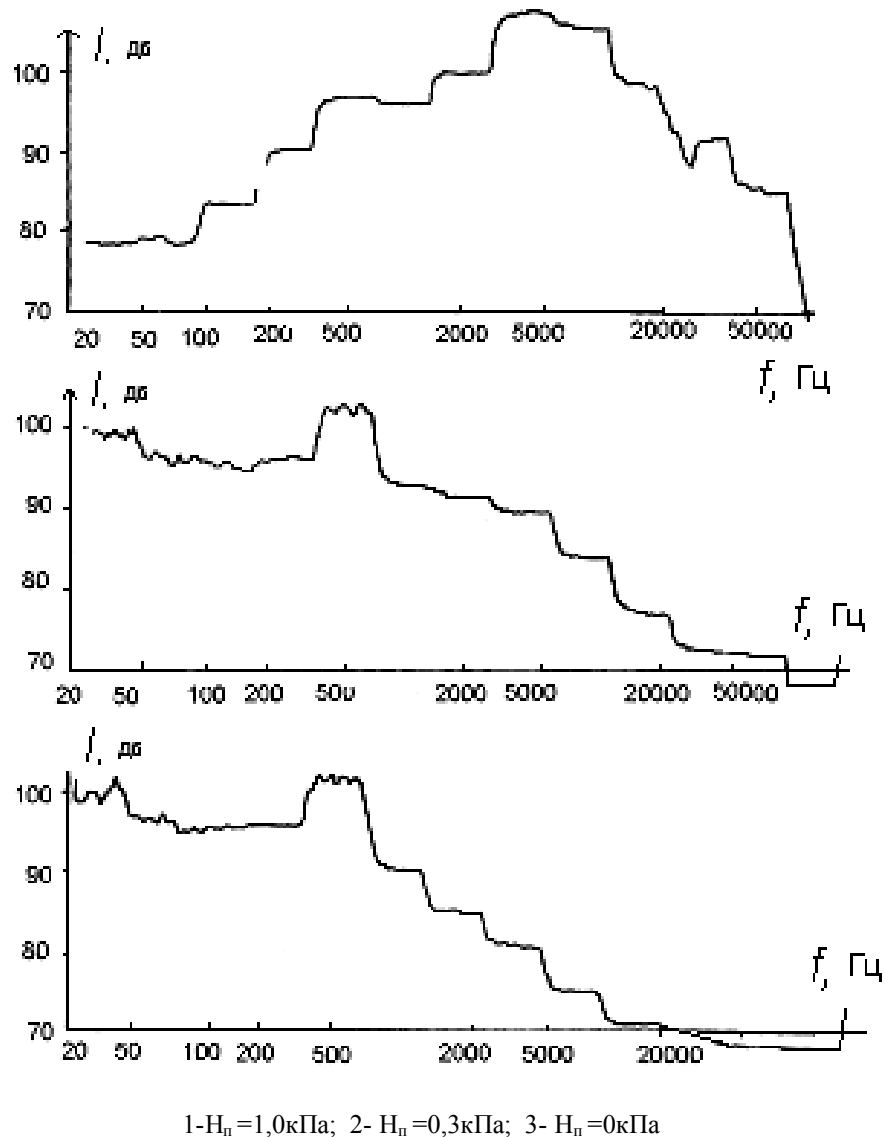


Рис. 3. Амплітудно-частотні характеристики зовнішньої акустичної активності газоструминної установки

Діапазон частот сигналів зовнішньої акустичної активності становив 20 Гц...160 кГц. Як показали вимірювання, істотні значення звукових тисків сигналів від сусідніх технологічних апаратів і витяжного вентилятора відповідають частотам, меншим за 10 кГц. При частотах від 10 до 22 кГц ці значення значно зменшуються, а при частотах, більших за 22 кГц, їхнього впливу на шум

газового струменя, який навантажено масою часток, що подрібнюються, не виявлено. Як приклад на рис. 2 наведено одну з великої серії отриманих характеристик зовнішнього акустичного сигналу, а на рис. 3 подано діаграму зміни рівня внутрішньої акустичної активності млина як функції середньгеометричних частот.

Дослідження показали, що значення шуму, який реєструється, залежить від ступеня завантаженості енергоносія твердою фазою. При розрідженні, близькому до нуля, спостерігалось мінімальне середнє значення шуму, а зі збільшенням завантаження рівень шуму підвищується. При подаванні матеріалу в млин спостерігається рівномірне зниження рівня шуму на величину близько 20...25 дБ за кожні 10 с. При збільшенні продуктивності від 17 до 20 кг/хв спостерігається зниження шуму в діапазоні величини частоти 300...700 Гц. Рівень шуму на лівому і правому інжекторах під час подрібнення залишався приблизно однаковим: 85...90 дБ.

При зміні відстані мікрофона від млина в межах 0,12...0,5м рівень шуму практично не змінювався. При граничному припустимому завантаженні млина, що виключає його завал, спостерігається сплеск на 7 дБ активності акустичного випромінювання на частотах від 6 до 13 кГц. При завалі, навпаки, рівень шуму знижується на частоті від 14 кГц до 18 кГц приблизно на ту саму величину. Із цього випливає, що, контролюючи шум установки на відзначених частотах, можна забезпечити стабільну роботу млина, запобігши стану завалу її матеріалом, у якому різко знижується ефективність струминного подрібнення [1, 5].

Аналіз і узагальнення результатів експериментів дають змогу зробити такі висновки.

1. Для оптимізації струминного подрібнення як керуючий сигнал може бути використана відносна зміна акустичної активності млина (зазвичай помельної камери), величина якої має кореляційний зв'язок із завантаженням млина, що визначає її продуктивність за готовим продуктом.

2. Зміна інтенсивності зовнішньої й внутрішньої акустичної активності млина залежно від завантаження становить 5...7дБ у діапазоні частот 2...10 кГц. Виявлено існування характерної залежності інтенсивності акустичних сигналів від продуктивності в діапазоні частот 4...16 кГц.

3. Зовнішня акустична активність має частотний діапазон до октави 63 кГц; на нашу думку, прояву зовнішньої активності на вищих частотах перешкоджає корпус млина.

4. Внутрішня акустична активність газоструминної установки має яскраво виражений частотний діапазон вище за 63 кГц; зміна інтенсивності АЭ становила 20...25 дБ в октавній смузі частот 125 кГц, що є кінцевою межею смуги пропускання вимірювальної апаратури.

5. Зі збільшенням завантаження газових струменів твердим матеріалом (аж до стану завалу млина) спостерігається стійке зниження частоти акустичної активності газосуміші (від 10 до 2 кГц), що відповідає практично нульовій інтенсивності (зникненню) акустичних сигналів.

6. Характер впливу завантаження млина на зміну частотного спектра акустичних сигналів однаковий для обох інжекторів і помельної камери, що дає змогу рекомендувати використання частотного сигналу млина для акустоемісійного моніторингу й оптимізації струминного подрібнення.

7. Для визначення функціональної залежності акустичної активності млина від режимів її роботи доцільно надалі виконати серію досліджень із давачами акустичної емісії й вимірювальною апаратурою із межею смуги пропускання до 1МГц. Цікавим видається також діапазон частот, більших від 22 кГц, у якому за наявності чутливішої апаратури також можуть бути виявлені корисні з погляду контролю й управління особливості поведінки акустичного випромінювання газоструминної подрібнювальної установки.

1. Горобец Л.Ж. Развитие научных основ измельчения твердых полезных ископаемых. Автореф. дисс. д-ра техн. наук: НГУ: Днепр-ск. – 2004. – 35 с.
2. Исследование акустоэмиссионных свойств природных материалов в режиме высоких давлений / Л.Ж. Горобец, В.Н. Бовенко, С.Б. Дуброва, О.Ф. Панченко // Физика и техника высоких давлений. – 1995. – №3. – С. 65-73.
3. Горобец Л.Ж. Изучение фундаментальных закономерностей энергетики измельчения // Збагачення корисних копалин. – 1998. – № 2. – С. 36-43.
4. Бовенко В.Н. Синергетические эффекты и закономерности релаксационных колебаний в состоянии предразрушения твердого тела: Автореф. дисс. д-ра физ.-мат. наук: М., 1990.
5. Горобец В.И., Горобец Л.Ж. // Новое направление работ по измельчению. – М., 1977.
6. Производство тонкодисперсных материалов в установках струйного измельчения / Пилов П.И., Горобец Л.Ж., Верхоробина И.В., Бредихин В.Е., Гришаков С.Н. // Тонкоизмельченные и ультрадисперсные материалы в промышленности (производство и применение: Материалы 1-й междунар. научн. практ. конф. Санкт-Петербург: “ИВА”, 2003. – С.18-22.
7. Горобец Л.Ж., Верхоробина И.В. Результаты акустоэмиссионного мониторинга эффекта диспергирования // Обогащение полезных ископаемых: Научн. Техн. сб.– Днепр-ск.– 2003.–Вып..18(59). – С.41-47.
8. Горобец Л.Ж., Шуляк И.А., Верхоробина И.В. Исследование связей измельчения с акустическим излучением при разрушении // Весник нац.техн. ун-та “ХПИ”. – Харьков.–2003.–№14. – С.135-140.
9. Аперодический датчик для регистрации акустических сигналов: А.с. 512602 СССР / В.Н. Бовенко, В.И. Полунин (СССР). – Опубл. 30.08.76, Бюл. №16. – 2с.