

изменяются как в сторону увеличения так и в сторону уменьшения планового значения, обеспечивая плановое производство при колебаниях массовой доли магнитного железа в руде, что поступает на вход секции обогащения.

Выводы и направления дальнейших исследований. Внедрение предложенной системы в производство позволит снизить колебание $Fe_{\text{магн}}$ на входе секции не менее, чем на 0,5%, что приведет к снижению колебаний железа в концентрате на 0,1% и будет способствовать повышению производительности агломашин на 0,28% и снижено расхода топлива на 1,2%.

Список литературы

1. Автоматизация технологических процессов на горнорудных предприятиях; Справочное пособие под ред. В.С. Виноградова – М., Недра, 1984, 167с.
2. **Процунто В.С.** Автоматизированные системы управления процессами обогатительных фабрик, - М., Недра, 1987, 253с.
3. **Улитенко К.Я., Маркин Р.П.** «Определение циркулирующей нагрузки измельчительных агрегатов в АСУТП», журнал «Обогащение руд», М. 2005, №2, стр. 42.
3. **Марюта А.Н.** и др., Автоматизация процесса обогащения руд, «Техніка», К., 1972г., стр. 110-114.
4. **Улитенко К.Я.** и др. Автоматизация процессов измельчения в обогащении и металлургии в настоящее время. Журнал «Цветные металлы», М., 2005, №10, стр 54
5. Спосіб автматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення: патент 56304 / **Кучер В.Г., Черняков С.Н., Кривенко Ю.Ю.**; власник патенту КТУ; завл. 14.06.2010; опубл. 10.01.2011, Бюл. №1.
6. Спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнювання магнетитових руд: патент 39942 / **Азарян А.А., Дрига В.В., Мордовін Д.М., Кучер В.Г., Цибулевський Ю.Є.**; власник патенту КТУ; завл. 07.07.2008; опубл. 25.03.2009, Бюл №6.
7. Система автматичного керування масової часткою магнітного заліза у конвеєрному рудопотоці: патент № 50668 / **Азарян А.А., Азарян В.А., Кучер В.Г., Мордовін Д.М., Цибулевський Ю.Є.**; власник патенту КТУ; заявл. 02.11.2009; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12.

Рукопись поступила в редакцию 11.02.14

УДК 621.926: 34.16

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., А.В. ПИКИЛЬНЯК, аспирант
Криворожский национальный университет

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ПУЛЬПЫ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИИ

Приведено описание метода, позволяющего эффективно управлять составом газовой фазы пульпы в процессе флотации с использованием динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука.

Ключевые слова: фазированная решетка, ультразвук, флотация, пульпа, газовая фаза, управление.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Ультразвуковые колебания высокой интенсивности позволяют ускорить традиционные и реализовать новые процессы в жидких, твердых и газообразных средах. Эффективность таких процессов обусловлена возникновением нелинейных явлений при распространении высокоамплитудных колебаний, вызывающих кавитационные процессы, радиационное давление, микро- и макропотоки, приводящие к разрывам механических и химических связей, увеличению поверхностей и скорости взаимодействия, ускорению процессов массо- и теплопереноса.

Анализ исследований и публикаций. Флотация является наиболее полной и универсальной операцией обогащения минерального сырья. Использование ультразвука в технологии флотации связано с рядом специфических явлений. Среди этих явлений особое место занимает кавитация. Она выражается в появлении в жидкости газовых пузырьков (полостей), в которых происходят ионизация молекул и атомов, повышение давления (до нескольких тысяч атмосфер) и температуры (на сотни градусов). Установлено, что газовые (кавитационные) пузырьки легче образуются на границе жидкого с твердым, энергично воздействуя на поверхность последнего.

Эффективность процесса флотации напрямую связана с числом столкновений между частицами и пузырьками, которые зависят от соотношения их размеров. Размер пузырьков является одной из наиболее важных характеристик, влияющих на эффективность процесса пенной флотации.

В механических флотационных машинах распределение газовых пузырьков по размерам зависит от следующих факторов: скорость вращения ротора, расход воздуха, способ подачи воздуха в камеру флотации, а также поверхностное натяжение флотационного раствора.

Для того, чтобы обеспечить оптимальные условия процесса флотации, необходимо, чтобы распределение газовых пузырьков и частиц руды по крупности были близки. В противном случае, если размеры пузырьков будут значительно больше размеров частиц руды, гидродинамические потоки вблизи поверхности пузырька будут уносить частицы и тем самым препятствовать их присоединению к пузырьку, газовые образования же значительно меньших размеров не смогут поднять гидрофобные частицы твёрдой фазы пульпы к её поверхности.

Цель исследований. Задачей исследований является математическое моделирование воздействия радиационного давления высокоэнергетического ультразвука на поток пульпы для формирования оптимальных параметров газовой фазы пульпы в процессе флотации.

Изложение материала и результаты. Для формирования необходимых характеристик газовых пузырьков предлагается использовать динамические эффекты высокоэнергетического ультразвука.

Вследствие воздействия высокоэнергетического ультразвука происходит перераспределение газовых пузырьков по размерам. При постоянной скорости течения пульпы характеристики этого перераспределения определяются параметрами ультразвука, концентрацией и характеристиками газовой фазы пульпы [1].

При моделировании физических процессов, определяющих технико-экономические показатели флотации, необходимы точные данные о характеристиках газовой фазы: концентрации и распределении газовых пузырьков по размерам. Для учета давления газа в пузырьке и изменяющегося давления в жидкости, а также вязкости и поверхностного натяжения целесообразно использовать уравнение динамики кавитационного пузырька Рэля-Плессета, в котором возбуждающее $P_i(t)$ давление задается в виде короткого импульса [2]

$$\ddot{R} \left(1 - \frac{\dot{R}}{c} \right) + \frac{3}{2} \dot{R}^2 \left(1 - \frac{\dot{R}}{3c} \right) = \frac{P(t)}{\rho} = \frac{1}{\rho c} \frac{d}{dt} [RP(t)], \quad (1)$$

$$P(t) = \left(P_o + \frac{2\sigma}{R_o} \right) \left(\frac{R_o}{R} \right)^{3\gamma} - \frac{2\sigma}{R} - P_o + P_i(t) - \frac{4\mu\dot{R}}{R}, \quad (2)$$

где P_o - статическое давление в жидкости; $R(t)$ - текущий радиус пузырька; R_o - начальный радиус пузырька; $P_i(t)$ - давление в падающей волне; σ - коэффициент поверхностного натяжения, μ - динамическая вязкость жидкости; ρ - плотность жидкости; c - скорость звука в жидкости (для воды $\sigma = 0,07$ Н/м; $\mu = 0,001$ Н с/м², $\rho = 103$ кг/м³, $c = 1500$ м/с); γ - показатель адиабаты газа в пузырьке (для воздуха $\gamma = 1,33$). Начальные условия задавались в виде $(t=0)=0$.

Из-за экстремального характера кавитационного воздействия в жидких средах необходимо не только формировать определенное значение амплитуды и частоты колебаний для инициирования соответствующих процессов, но и поддерживать их оптимальные значения при изменении параметров среды (плотность, вязкость) и воздействии дестабилизирующих факторов (изменение температуры среды и материала пьезопреобразователя, демпфирующее действие среды и т.д.). В связи с тем, что оптимальное ультразвуковое воздействие обеспечивает максимальную эффективность процесса и получение конечного продукта заданного качества, возникает необходимость в автоматическом управлении параметрами ультразвукового поля (амплитуда и частота колебаний).

Для решения поставленной задачи предлагается использовать технологию фазированных решеток, имеющую ряд преимуществ по сравнению с традиционными одноэлементными преобразователями.

Главная особенность технологии ультразвуковых фазированных решеток - управляемые компьютером амплитуда и фаза импульсов возбуждения отдельных пьезоэлементов в многоэлементном преобразователе. Возбуждение пьезоэлементов осуществляется таким образом, чтобы управлять параметрами ультразвукового луча, например, углом, фокусным расстоянием,

размером фокусного пятна.

Акустическое давление $p(x,y,z)$ вычисляется путем моделирования группы пьезоэлементов и суммирования воздействий каждого элемента в каждой точке поля (x,y,z) , используя уравнение Релея-Зоммерфельда и может быть представлено в виде [3]

$$p_i(x,y,z) = \sqrt{\frac{2W\rho}{cA}} \left(\frac{fS}{d} \right) e^{\left\{ \left(\phi - \frac{2\pi d}{\lambda} \right) i - d\alpha \right\}}, \quad (4)$$

где W - полная акустическая выходная мощность группы пьезоэлементов; ρ - плотность среды, c - скорость звука в среде; A - активная апертура преобразователя; f - частота, S - область, формируемая источником; d - расстояние от источника до точки (x,y,z) ; ϕ - фаза колебаний; λ - длина волны; α - коэффициент затухания в среде.

Активная апертура (общая длина решетки) рассчитывается по следующей формуле [4]

$$A = ne + g(n-1), \quad (5)$$

где A - активная апертура; g - зазор между ближайшими элементами; e - ширина одного элемента (как правило $e < \lambda/2$); n - количество элементов.

Полезное давление всех пьезоэлементов, может быть получено суммированием воздействий каждого отдельного источника и представлено в виде

$$P_{net}(x,y,z) = \sum_{i=1}^n p_i(x,y,z). \quad (6)$$

В результате затухания полезная мощность в точке (x,y,z) определяется выражением [5]

$$q(x,y,z) = \frac{\alpha P_{net}^2(x,y,z)}{\rho c}, \quad (7)$$

Фаза каждого пьезоэлемента вычисляется по формуле

$$\phi_i = \frac{360^\circ}{\lambda} (d_i - d_o) - 360^\circ n, \quad (8)$$

где ϕ_i - фаза пьезоэлемента i в градусах, d_i - расстояние от центра пьезоэлемента i до фокуса, d_o - глубина фокуса, n - целое число, $0 \leq \phi_i \leq 360^\circ$.

На рис. 1 представлена конфигурация (размеры) фазированной решетки, используемая при моделировании программно-техническими средствами пакета ТАС (Transducer Array Calculation) [6]

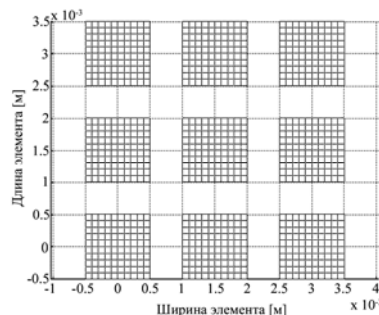


Рис. 1. Фазированная решетка состоящая из 9-х элементов

Ультразвуковой преобразователь имеет определенные характеристики, которые определяются его материалом и геометрией (рис. 2)

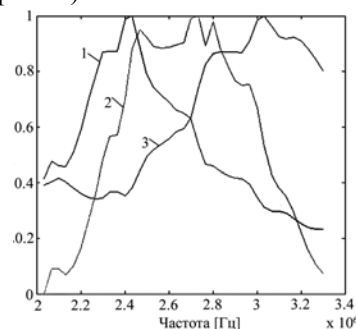


Рис. 2. Характеристики преобразователя: 1 - амплитуда; 2- фаза; 3- активная мощность

На рис. 3 показано поле акустического давления девятиэлементного преобразователя в фокальной плоскости $x-z$ при $y=0,05$ м.

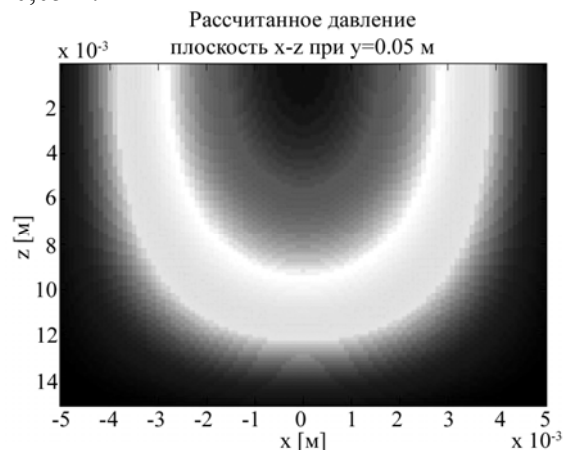


Рис. 3. Поле акустического давления в фокальной плоскости $x-z$

На рис. 4 показана зависимость резонансных размеров газовых пузырьков от давления ультразвуковых колебаний для различных значений их частоты. При увеличении частоты, резонансный размер пузырька уменьшается. При увеличении давления, пузырек становится более зависимым от давления, чем от частоты. Это изменение происходит при амплитудах давления при которых начинается переходная кавитация [7].

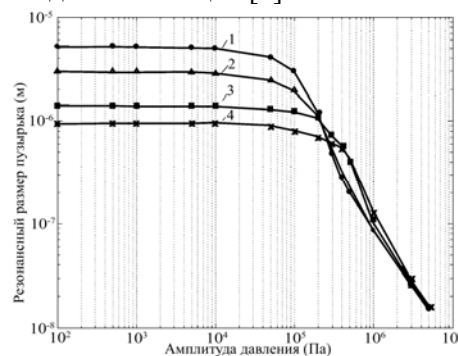


Рис. 4. Зависимость размера газового пузырька от частоты: 1 - 0,5 МГц; 2 - 1 МГц; 3 - 3 МГц; 4 - 5 МГц

Результаты моделирования процесса воздействия динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука на газовую фазу пульпы позволили получить зависимости параметров функции распределения газовых пузырьков по размерам от частоты и амплитуды приложенного ультразвукового воздействия.

Выводы. Результаты проведенных опытно-промышленных испытаний предлагаемого метода оптимизации процесса флотации свидетельствуют о том, что такой подход позволяет реализовать эффективное управление составом газовой фазы пульпы, повысить качество получаемого концентрата и энергоэффективность всего технологического процесса.

Список литературы

1. Моркун В.С. Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов и адаптивное управление процессами измельчения-классификации руд на его базе: / В.С. Моркун. - Дисс. ... докт. техн. наук: 0.5.13.07. - Кривой Рог, 1999. - 401 с.
2. Lauterborn W., Parlitz U. On the bifurcation structure of bubble oscillations// Problems of nonlinear acoustics / XIIth International symposium on nonlinear acoustics. Novosibirsk, 1987. p. 75–79.
3. Goodman J. W., Introduction to Fourier Optics, New York, 1968, p.5.
3. Olympus NDT. Introduction to phased array ultrasonic technology applications. R/D tech guideline. Canada, April 2007, p.9.
3. Seip, R., VanBaren, P., Cain, C. A., and Ebbini, E. S., Noninvasive Real-Time Multipoint Temperature Control for Ultrasound Phased Array Treatments, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 43(6), 1996, p.1063-1073.
3. Kohout B., Transducer Array Calculation (TAC) GUI., <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/35657-transducer-array-calculation-tac-gui>.

3. Carvell K. J., Dependence of bubble size and peak rarefractional pressure on maximum bubble response during therapeutic ultrasound histotripsy. Graduate Theses and Dissertations. Iowa. 2009. p. 44.

Рукопись поступила в редакцию 11.02.14

УДК 528.4:504.062

А.Ю. ПАЛАМАР, аспірантка, Криворізький національний університет
Й.Д. МАЯКОВ, Криворізька геологічна експедиція «Кривбасгеологія»

ВИЗНАЧЕННЯ ЗОН ПО КОМФОРТНОСТІ ПРОЖИВАННЯ В КРИВОРІЗЬКОМУ РЕГІОНІ З УРАХУВАННЯМ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО УРАХУВАННЯ ПРИ ПРОВЕДЕННІ І ВИЗНАЧЕННІ НОРМАТИВНОЇ ОЦІНКИ ЗЕМЕЛЬ

Своєрідна геологічна будова порід, видобуток залізної та, в минулому, уранової руди, переробна промисловість, супутні високо технологічні виробництва, дуже висока щільність населення зі своїми, не менш значними факторами впливу на природне середовище, призвели до такої ситуації, коли зміна екологічного стану природного середовища наближається до катастрофічного.

Постановка проблеми. Урахування екологічного стану території при грошовій оцінці земель на території гірничопромислових комплексів є необхідною умовою для визначення їх достовірної вартості, зниження податкового тиску на забруднених землях. Існуючі теоретичні та методичні підходи до грошової оцінки таких земель не в повній мірі враховують показники їх екологічної якості і базуються на застарілих даних. У нормативній літературі взагалі відсутні відповідні коефіцієнти для коригування вартості землі. Кривий Ріг велике промислове місто, що виділяється своєю особистістю за рівнем забруднення довкілля. За даними забруднення атмосфери в містах України за 2012 р. місто індексоване високим рівнем забруднення [1].

Зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями. За статистичними даними 1992-2013 рр., спостерігався дуже високий рівень забруднення атмосферного повітря, про це повідомляє Міністерство екології та природних ресурсів [2]. Так, протягом 20-річного періоду найбільш забрудненими є міста, в основному на сході та в центрі України, зокрема у центральному регіоні, найбільш забруднене повітря у Дніпропетровську, Дніпродзержинську та Кривому Розі.

Викладення матеріалу дослідження. Швидко, можна навіть сказати, швидкоісна урбанізація як глобальна проблема з'явилася вже кілька десятків років тому і розвиток великих міст в мегаполісах привело до народження основних джерел перетворення й забруднення навколишнього середовища, а також зміна міського простору. Основні критерії оцінки змін екологічного стану геологічного середовища міста Кривого Рогу зводиться до того, що місто, є унікальне щодо формування екологічної обстановки. Це практично єдине місце в Україні, де екологічний стан довкілля зумовлений такими різними і в той же час значними, за своїм впливом, факторами. Своєрідна будова геологічного середовища, видобуток залізної та, в минулому, уранової руди, переробна промисловість, супутні технологічні виробництва, дуже висока щільність населення зі своїми, не менш значними факторами впливу на природне середовище у поєднанні з низьким захисним потенціалом призвели до такого наслідку, коли зміни екологічного стану геологічного середовища наближається до катастрофічної [3].

Проблема створення екологічних зон комфорту проживання в агресивному міському середовищі набуває особливої важливості у зв'язку з бурхливим зростанням міського населення і ущільненням міської забудови. Зростання міста супроводжується скороченням кількості чистого повітря, води, зеленого простору і тиші, чого так не вистачає сучасній людині з його прискореним ритмом життя в містах і мегаполісах. Великі міста вносять істотні зміни у сформований вітровий режим руху повітряних мас. Висотні будівлі, розміщені в міському середовищі без урахування вітрового режиму, також можуть призводити до створення небажаних вихрових потоків, оточуючі стіни будівель [4].

У даний час важливим напрямком у розвитку міста є вироблення сучасної концепції формування екологічних зон по комфортності проживання. Криворізькою геологічною експедицією «Кривбасгеологія», була складена карта, електронний варіант якої представлено на рис. 1