

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Постійний аналіз добових і місячних графіків споживаних активної і реактивної потужностей с вивченням питомих витрат на одиницю об'єму питних та стічних вод дозволить своєчасно виявляти порушення балансів потужностей та знизити втрати активної і реактивної електроенергії.

Впровадження перетворювачів частоти і пристроїв плавного пуску у мережах насосних станцій призведе до зменшення споживання реактивної потужності та поліпшення енергетичних показників електроприводів насосів.

#### *Список літератури*

1. **Закладний О.М., Праховнік А.В., Соловей О.І.** Энергозбереження засобами промислових електроприводів. Навч. посіб. – К.:Кондор,2005. – 408с.
2. **Коренькова Т.В.** Техничко-економическая оценка эффективности использования системы ТРН-АД в электроприводе насосных установок // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці ДПУ. –Кременчук: КДПУ. 2001. –Вип.2(11). –С.98 -101.
3. **Гаврилов П.Д.** Автоматизированный частотноуправляемый электропривод – основа энерго- и ресурсосбережения. [www.energsovet.ru/stat65.html](http://www.energsovet.ru/stat65.html).

Рукопис подано до редакції 17.04.14

УДК 621.926: 34.16

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук., проф., А.В. ПИКИЛЬНЯК, аспірант  
Н.С. ПОДГОРОДЕЦКИЙ, И.В. КАСАТКИНА, кандидаты техн. наук, доц.  
Криворожский национальный университет

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ФАЗИРОВАННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ГАЗОВЫХ ПУЗЫРЬКОВ ПО РАЗМЕРАМ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ**

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, функция распределения.

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Флотация - наиболее широко используемый процесс разделения в обогащительной промышленности и является наиболее полной и универсальной операцией переработки минерального сырья. Важность флотационной технологии в глобальной экономике очень значительна. Грубая оценка количества измельченной руды, которая перерабатывается посредством флотации составляет около 9 млрд т в год [1].

Существующие методы и автоматические системы управления процессом флотации не позволяют эффективно управлять параметрами газовой фазы в условиях изменяющихся характеристик, параметров среды и состояния технологического оборудования.

**Анализ исследований и публикаций.** Для понимания физических процессов, определяющих флотацию необходимы точные данные о параметрах газовой фазы, из которых наиболее важными являются, размер и распределение пузырьков по размерам. Эти параметры сильно зависят от различных эксплуатационных, технических и физико-химических факторов, воздействие которых следует учитывать при моделировании процесса флотации [2].

Известно, что в процессе флотации для распределения частиц твердой фазы пульпы по крупности может существовать оптимальное распределение пузырьков газовой фазы по размерам. Тогда задача исследований состоит в формировании и поддержании заданного распределения газовых пузырьков по размерам, которое бы соответствовало распределению частиц измельченной руды по крупности. В противном случае, если размеры пузырьков будут значительно больше размеров частиц, гидродинамические потоки вблизи поверхности пузырька будут уносить частицы и тем самым препятствовать их присоединению к пузырьку, пузырьки же значительно меньших размеров не смогут поднять гидрофобные частицы руды к поверхности пульпы.

**Цель исследований.** Задачей исследований является усовершенствование метода формирования распределения газовых пузырьков по размерам в процессе флотации путем воздей-

вия на поток пульпы высокоэнергетического ультразвука на базе технологии ультразвуковых фазированных решеток.

**Изложение материала и результаты.** Для формирования необходимой функции распределения газовых пузырьков по размерам, которая бы совпадала с функцией распределения частиц твердой фазы пульпы по крупности в процессе флотации, предлагается, воздействовать на поток пульпы высокоэнергетическими ультразвуковыми колебаниями с заданными амплитудой и частотой, что приведет к изменению концентрации газовых пузырьков и перераспределению их по размерам. Характер этого перераспределения зависит от размеров самих пузырьков, частоты и амплитуды воздействующего излучения. Увеличивая частоту и амплитуду до значений, при которых начинается переходная кавитация, размеры пузырьков будут уменьшаться, за счет дробления более крупных пузырьков. При уменьшении амплитуды и частоты, пузырьки будут увеличиваться, за счет коалесценции более мелких пузырьков.

Для решения поставленной задачи предлагается формировать управляющее воздействие на основе динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука с использованием технологии фазированных решеток, главной особенностью которой являются управляемые компьютером амплитуда и фаза импульсов возбуждения отдельных пьезоэлементов в многоэлементном преобразователе для управления параметрами ультразвукового луча, например, углом, фокусным расстоянием, размером фокусного пятна посредством компьютерной программы.

С учетом изложенного в предлагаемом методе с помощью ультразвуковой фазированной решетки, закрепленной на внешней стенке камеры флотационной машины, в рабочей зоне машины, в каждый текущий момент времени генерируется высокоэнергетическое ультразвуковое воздействие с заданной частотой 0,7-2,5 МГц, (потому как значение ниже 0,7 МГц не дает стойкого эффекта изменения размера пузырьков, что вызвано экстремальным характером кавитационного воздействия, а значение выше 2,5 МГц уже не влияют на изменение необходимых показателей) и амплитудой давления  $10^2-5 \cdot 10^6$  Па, (потому как значение ниже  $10^2$  Па недостаточно для эффективного управления газовой фазой, а значения выше  $5 \cdot 10^6$  Па не дают прироста качественных показателей), сфокусировано на окно в междукламерной перегородке.

Газовые пузырьки, образовавшиеся на этапе аэрации, после диспергирования импеллером, подвергаются воздействию сфокусированного ультразвука, что приводит к изменению их концентрации и необходимого перераспределения по размерам в потоке пульпы.

Для точной фокусировки на окне в междукламерной перегородке необходимо произвести расчет параметров фазированной решетки и построить диаграмму ее направленности.

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

$$p_i(x,y,z) = \sqrt{\frac{2W\rho}{cA}} \left( \frac{fS}{d} \right) e^{\left\{ \left( \phi - \frac{2\pi d}{\lambda} \right) i - d\alpha \right\}}, \quad (1)$$

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

Активная апертура может быть вычислена из формулы [4].

$$A = n \cdot e + g \cdot (n - 1), \quad (2)$$

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

Проекция активной апертуры на плоскость, перпендикулярную преломленным лучам (эффективная активная апертура  $A_{eff}$ ) может быть представлена в следующем виде

$$A_{eff} = \frac{A \cdot \cos \beta_R}{\cos \alpha_I}, \quad (3)$$

Минимально необходимая активная апертура для получения достаточной фокусировки под максимальным преломленным углом может быть описана выражением

$$A_{\min} = 2 \left[ \frac{F(v_R^2 - v_1^2 \cdot \sin^2 \beta_R)}{f \cdot v_R \cdot \cos^2 \beta_R} \right]^{0.5}, \quad (4)$$

где  $v_1$  - скорость звука в первой брете;  $v_R$  - скорость звука в контролируемом образце;  $f$  - частота ультразвука;  $F$  - фокусная глубина для максимального угла преломления;  $\beta_R$  - максимальный угол преломления в испытуемом образце.

Оптимальная величина пассивной апертуры определяется частотой и требуемым диапазоном фокусных расстояний и определяется выражением

$$W = 1.4[\lambda(F_{\min} + F_{\max})]^{0.5}, \quad (5)$$

Влияние оптимальной величины пассивной апертуры на фокусное расстояние рассчитывается для несфокусированного преобразователя из формулы

$$N_o = \frac{(A^2 + W^2)(0,78 - 0,27W/A)}{\pi\lambda}. \quad (6)$$

На практике допустимо использовать приближенное значение в следующем виде

$$N_o = 0,25A^2/\lambda, \quad (7)$$

Шаг решетки  $p$  определяется по формуле

$$p = e + g, \quad (8)$$

где  $g$  - величина зазора;  $e$  - ширина элемента.

Максимальная ширина отдельного элемента, которая определяется максимальным углом отклонения луча при электронном управлении  $e_{\max}$  может быть представлена в следующем виде

$$e_{\max} = 0,514 \cdot \lambda / \sin \alpha_{R_{\max}}, \quad (9)$$

Отметим, что ширина луча зависит от фокусного расстояния и от угла ввода.

Сфокусированный луч характеризуется приведенным фокусным расстоянием, которое определяется по формуле

$$S_{ac} = F_{ac} / N_o, \quad (10)$$

где  $0 < S_{ac} < 1$  и  $F_{ac} < N_o$ , и  $F_{ac}$  - действительное фокусное расстояние.

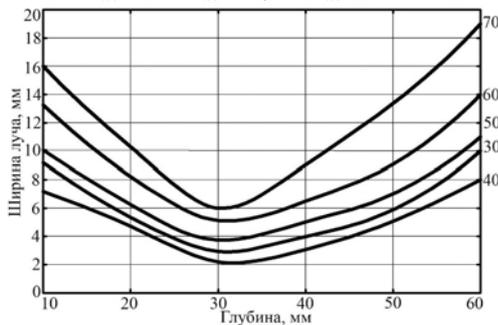


Рис. 1. Зависимость ширины луча от угла ввода и глубины

Фокусное расстояние линзы в оптическом приближении определяется следующим выражением

$$F_{opt} = R / 1 - (v_{test-piece} / v_{lens}), \quad (11)$$

где  $R$  - радиус кривизны поверхности призмы.

Приведенное фокусное расстояние в оптическом приближении определяется формулой

$$S_{opt} = F_{opt} / N_o, \quad (12)$$

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

$$P_{net}(x, y, z) = \sum_{i=1}^n p_i(x, y, z). \quad (13)$$

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

$$q(x, y, z) = \frac{\alpha P_{net}^2(x, y, z)}{\rho c}, \quad (14)$$

Полная энергия в точке  $(x, y, z)$  определяется выражением

$$I(x, y, z) = \frac{P^2(x, y, z)}{2\rho c}, \quad (15)$$

где  $I(x, y, z)$  - интенсивность в точке  $(x, y, z)$ , Вт м<sup>-2</sup>.

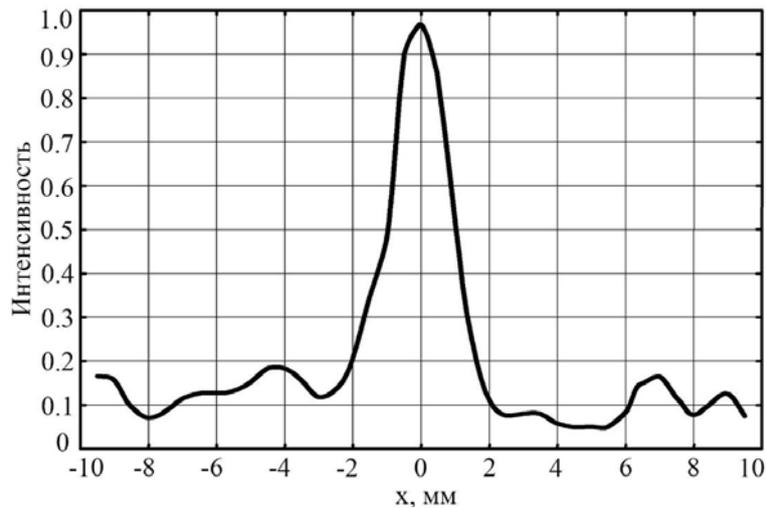


Рис. 2. Интенсивность ультразвукового поля

Фаза каждого пьезоэлемента вычисляется по следующей формуле

$$\phi_i = \frac{360^\circ}{\lambda}(d_i - d_o) - 360^\circ n, \quad (16)$$

где  $\phi_i$  - 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. 3 показано поле акустического давления 16-и элементного преобразователя в фокальной плоскости  $x$ - $z$  при  $y=0,05$  м, полученное при моделировании программно-техническими средствами пакета ТАС (Transducer Array Calculation) [6].

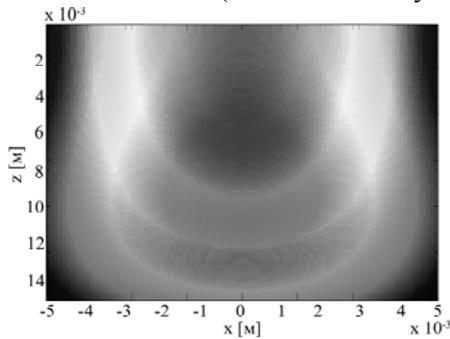


Рис. 3. Поле акустического давления в фокальной плоскости  $x$ - $z$

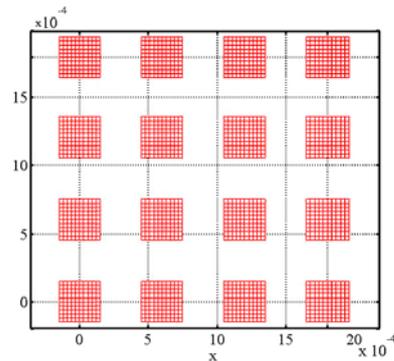


Рис. 4. Расположение элементов решетки

Нормированная диаграмма направленности для прямоугольной решетки при  $Z=16$  элементов расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга  $d=0,6$  мм на плоскости (рис. 4) имеет вид (рис. 5).

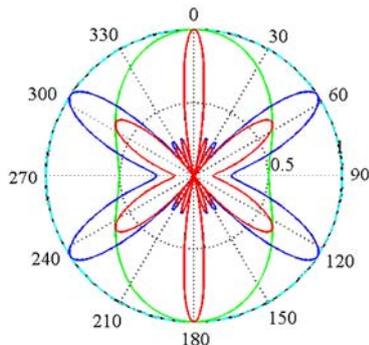


Рис. 5. Диаграмма направленности прямоугольной фазированной решетки при  $Z=16$ ,  $\phi=0^\circ$

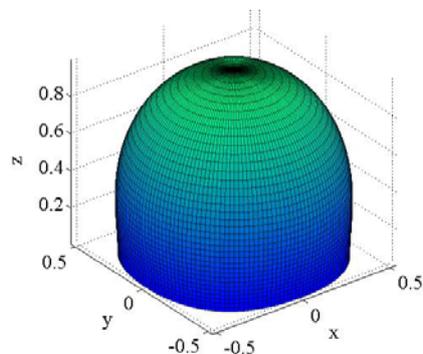


Рис. 6. Диаграмма направленности одного элемента решетки

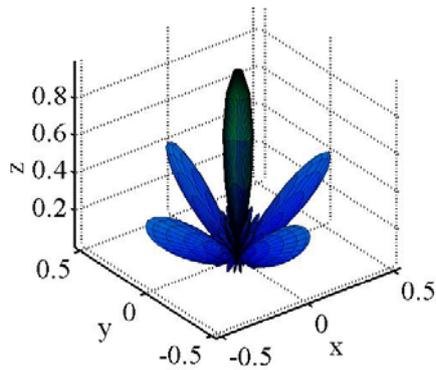


Рис. 7. Диаграмма направленности всей фазированной решетки

С учетом изложенного, для реализации способа в рабочей зоне флотационной машины, в каждый текущий момент времени, с помощью фазированной решетки формируется ультразвуковое воздействие определенной амплитуды и частоты, что позволит получить необходимое распределение газовых пузырьков по размерам в потоке пульпы.

**Выводы:** Результаты моделирования процесса воздействия динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука на газовую фазу пульпы и 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. **Brewis T.** Flotation cells. Mining Magazine, 1996,160(7): p. 18–24.
2. **Miskovic S.** An investigation of the gas dispersion properties of mechanical flotation cells: an IN-SITU approach. - Blacksburg, Virginia, 2011.
3. **Goodman J. W.**, Introduction to Fourier Optics, New York, 1968, p.5.
4. **Olympus NDT.** Introduction to phased array ultrasonic technology applications. R/D tech guideline. Canada, 2007, p.9.
5. **Seip R., VanBaren P., Cain C., Ebbini E.** 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.
6. **Kohout B.**, Transducer Array Calculation (TAC) GUI., <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/35657-transducer-array-calculation-tac-gui>.

Рукопись поступила в редакцию 16.04.14

УДК 331.45.001.85

Н.Ю. ШВАГЕР, д-р техн. наук, проф.,  
Т.А. КОМІСАРЕНКО, О.В. НЕСТЕРЕНКО, кандидати техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

### АКМЕОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ У СФЕРІ ВИРОБНИЧОЇ БЕЗПЕКИ

Наведено аспекти підготовки фахівців. Для успішного формування професійних знань, умінь і навичок необхідно спиратися на наявні знання студентів, активізуючи, таким чином, їх пізнавальну діяльність. Особливо важливе значення набуває виконання цієї умови при формуванні знань в галузі промислової безпеки.

**Постановка проблеми.** Інтеграція сучасного українського суспільства в європейський простір потребує фундаментальних змін у соціально-економічній сфері країни. Важливою передумовою цього є покращення стану охорони праці (ОП) на основі новітніх технологій та вимог міжнародних стандартів.

За станом ОП Україна посідає 90-92 місце у світі. Щорічно в результаті нещасних випадків на виробництві економіка країни втрачає близько 4 млрд грн. за рік. Одна травма обходиться державі в середньому в 2 тис. грн., травма зі смертельним наслідком - близько 30 тис. грн. Враховуючи те, що однією з основних причин такого незадовільного стану ОП в Україні є «людський фактор», на який сьогодні припадає близько 75-80% усіх нещасних випадків на виробництві, першочерговим завданням є впровадження інноваційних модульних технологій випереджаючого безперервного навчання, перенавчання та підвищення кваліфікації робітничих кадрів в галузі ОП, які б характеризувалися високим ступенем гнучкості, мобільності, відкритості та економічності.