

2. **Мариев П.Л.** Вибромониторинг технического состояния редукторов мотор-колес самосвала БелАЗ / **П.Л. Мариев, Н.Н. Ишин** // Проблемы карьерного транспорта. Материалы XI Международной научно-практической конференции - Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 230 с.

3. **Барзилович Е. Ю., Каштанов В. А.** Организация обслуживания при ограниченной информации о надежности системы. М., «Сов. радио», 1975. – 136 с. с ил.

4. **Вентцель Е. С., Овчаров Л. А.** Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.– 1991. – 384 с.

5. «Положение в техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных самосвалов БелАЗ» г. Жодино, 2004.

Рукопись поступила в редакцию 19.03.13

УДК 622.74: 622: 765

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

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВЫХ ПУЗЫРЬКОВ ПО РАЗМЕРАМ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИИ

Приведено описание метода, позволяющего эффективно управлять составом газовой фазы пульпы в процессе флотации с использованием динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука на базе технологии ультразвуковых фазированных решеток.

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

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Процесс флотации характеризуется, с одной стороны, достаточной сложностью и многообразием протекающих во флотомашине взаимосвязанных химических и физико-механических процессов, с другой стороны - отсутствием возможности на многих обогатительных фабриках непрерывного оперативного контроля за рядом важнейших технологических параметров.

**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. Размер пузырька определяет площадь поверхности, на которой взаимодействуют твердые частицы и пузырьки, и которая вносит существенный вклад в гидродинамику системы и общую производительность флотации. Размер единичного пузырька и распределение пузырьков по размерам в камере сильно зависит от различных эксплуатационных, технических и химических факторов, воздействие которых следует учитывать при проектировании или моделировании процесса флотации.

Для того, чтобы обеспечить оптимальные условия флотации, необходимо, чтобы распределение газовых пузырьков и частиц руды по крупности совпадали. 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 меньших размеров не смогут поднять гидрофобные частицы руды к поверхности пульпы.

В пневмомеханических флотационных машинах распределения пузырьков по размерам зависит от следующих факторов: скорость вращения ротора, расход воздуха, способ подачи воздуха в камеру флотации, которая зависит от типа машины, а также поверхностного натяжения флотационного раствора. Определенное влияние на окончательную форму распределения оказало явление, которое обратное процессу диспергирования пузырьков воздуха, т.е. явление коалесценции.

Поведение газового пузырька в жидкости может быть различным – чисто сферические пульсации, возникновение колебаний поверхности пузырька, при которых происходит нарушение сферической симметрии движения, трансляционное движение, взаимодействие и дробление пузырьков на более мелкие, возникновение кумулятивных микропотоков и т.д.

Измерение распределения пузырьков по размерам и доли пустот является очень важным в исследованиях гетерофазных потоков. Для получения такой информации на сегодняшний день используется ряд методов [1-3], которые могут быть разделены на оптические методы (фотография, голография, рассеяние, рентгенография), акустические методы (рассеяние, затухание,

дисперсия и т.д.) и другие (электрический импеданс, восприимчивость к кавитации и т.д.).

Акустические методы относительно просты, и применимы к гораздо большему количеству образцов жидкости и оптически недоступных сред по сравнению с остальными методами [4].

**Цель исследований.** Задачей исследований является усовершенствование способа формирования заданного распределения газовых пузырьков по размерам в процессе флотации путем воздействия на поток пульпы высокоэнергетического ультразвука на базе технологии ультразвуковых фазированных решеток.

**Изложение материала и результаты.** Равновесный радиус пузырька, который связан с количеством газа в пузырьке, может изменяться с течением времени за счет обмена газом между пузырьком и окружающей жидкостью, вызванного изменениями в давлении газа во время колебаний пузырька. Пузырьки могут соединяться под воздействием сил притяжения Бьеркнеса и таким образом создавать большие газовые образования. Этот процесс достаточно хорошо изучен, однако, количественное описание образования и объединения пузырьков на поверхностях сосуда до сих пор не было предложено.

Маленькие пузырьки, соединяясь, образуют пузырьки больших размеров, которые в свою очередь, могут снова соединяться, либо разделяться на более мелкие. Поверхность пузырька “бурлит”, покрываясь пленой более мелких. При изменении частоты и амплитуды акустического поля можно наблюдать трансформацию в поведении пузырька. Если левитирующий пузырек находился в определенном слое жидкости, то при увеличении частоты ультразвукового воздействия он сразу всплывает на поверхность. Такое же поведение имеет место при уменьшении амплитуды звукового поля. Это связано с тем, что пузырек перестает удерживаться силой радиационного давления и всплывает под действием силы Архимеда [5].

Если маленький пузырек ( $R \ll \lambda$ ) находится в поле акустического давления  $p = p(\vec{r})e^{i\omega t}$ , то уравнение его малых колебаний имеет вид

$$\Delta \ddot{R} + \omega_0^2 \Delta R + \varepsilon \Delta \dot{R} = -\frac{p(\vec{r})}{\rho R_0} e^{i\omega t}, \quad (1)$$

где  $\Delta R = R - R_0$ .

Резонансная частота монополярных колебаний пузырька радиуса  $R_0$  имеет вид [7]

$$\omega_0 = \frac{1}{R_0} \sqrt{3\gamma P_0 / \rho}, \quad (2)$$

где  $\gamma$  - показатель адиабаты для газа в пузырьке,  $P_0$  - внешнее давление, а параметр  $\varepsilon$  учитывает потери энергии при колебаниях пузырька [7].

Для моделирования распределения пузырьков по размерам, роста и сжатия пузырьков при различных условиях предлагается модель [8-10], основанная на выражениях для дополнительной силы Бьеркнеса.

Динамика одиночного пузырька может быть описана уравнением Келлера-Миксиса [11]

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

$$\rho_l = \left(\rho_0 + \frac{2\sigma}{R_0}\right) \left(\frac{R_0}{R}\right)^{3\kappa} - \rho_0 - \frac{2\sigma}{R} - \frac{4\mu}{R} \dot{R} - \rho_a(t), \quad (4)$$

где  $R$  - радиус пузырька,  $c$  - скорость звука, точки обозначают производные по времени,  $\rho$  - плотность жидкости,  $\sigma$  - поверхностное натяжение,  $R_0$  - равновесный радиус пузырька,  $\kappa$  - показатель политропы,  $\rho_0$  - внешнее давление,  $\mu$  - вязкость,  $\rho_a$  - акустическое давление,  $t$  - время.

Колебания пузырька наиболее значительны, когда равновесный радиус пузырька близок к резонансному радиусу, определяемого частотой акустического поля  $f$  по следующей формуле (формула Минарта) [12]

$$fR_r = 3 \left[ \frac{m}{s} \right], \quad (5)$$

При отсутствии акустического давления, пузырьки постепенно теряют газ, так как давление внутри пузырька выше, чем снаружи. Распад пузырьков, можно описать следующим выражением

$$\dot{R}_o = \frac{C_o D}{\rho_{gas}} \left( \frac{C_\infty}{C_o} - 1 - \frac{2\sigma}{\rho_o R_o} \right) \left( \frac{1}{R_o} + \frac{1}{\sqrt{\pi D t}} \right), \quad (6)$$

где  $C_o$  - концентрация насыщенного газа,  $D$  - коэффициент диффузии газа,  $C_\infty$  - концентрация газа в жидкости, вдали от пузырьков.

Диффузионный механизм роста пузырька обычно проявляется при сравнительно медленных изменениях давления (низкая частота звука) в жидкости с большим содержанием газа. При расширении пузырька концентрация газа в нём падает и газ диффундирует из жидкости в пузырёк. При сжатии пузырька процесс происходит в обратном направлении. Количество продиффундировавшего газа пропорционально площади поверхности пузырька, которая в стадии расширения больше, чем в стадии сжатия. В результате не происходит полной компенсации потоков газа и в целом за период количество газа в пузырьке возрастает. Это явление называется выпрямленной диффузией, оно вызывает рост пузырьков в поле переменного давления.

Выпрямленная диффузия может быть определена по следующей формуле

$$\dot{R}_o = \frac{DR_g T C_o}{\rho_o R_o \left( 1 + \frac{4\sigma}{3\rho_o R_o} \right)} \left( \langle R/R_o \rangle + R_o \sqrt{\frac{\langle R^4/R_o^4 \rangle}{\pi D t}} \right) \left( \frac{C_\infty}{C_o} - \frac{\langle \frac{R^4}{R_o^4} \cdot \frac{p_g}{\rho_o} \rangle}{\langle R^4/R_o^4 \rangle} \right), \quad (7)$$

где  $R_g$  - универсальная газовая постоянная,  $T$  - абсолютная температура,  $\langle \cdot \rangle$  указывает на усредненное по времени значение,  $p_g$  - давление газа внутри пузырька.

Притяжение между двумя пузырьками (с индексами 1 и 2) описывается с помощью вторичной силы Бьеркнеса  $FB_{212}$  выражением [13]

$$FB_{212} = \frac{\rho \cdot R_1 (2\dot{R}_1^2 + R_1 \ddot{R}_1)}{d_{12}^2} \cdot \frac{4}{3} \pi R_2^3, \quad (8)$$

где  $d$  - расстояние между пузырьками.

Предположим, что притягиваются только пузырьки с одинаковыми радиусами, тогда движение пузырька описывается следующим уравнением (для пузырька с координатой  $x$ )

$$\frac{1}{2} \rho V_o \cdot \ddot{x}(t) = - \frac{\rho \cdot R (2\dot{R}^2 + R \ddot{R})}{(2x(t))^2} \cdot \frac{4}{3} \pi R^3, \quad (9)$$

где  $V_o$  - равновесный объем пузырька. На рис. 1 показаны численные значения вторичной силы Бьеркнеса на основании результатов экспериментов, и различных значений амплитуды акустического давления [8,9]. Из рис. 1 видно, что вторичная сила Бьеркнеса преимущественно зависит от радиуса пузырька. Увеличивается, когда радиус пузырька достигает максимально близкого значения с резонансным и уменьшается, для пузырьков больших или меньших резонансного радиуса. Интегрируя это уравнение, получим время коалесценции двух пузырьков на расстоянии  $2x_o$  друг от друга

$$t(x \rightarrow 0) = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{x_o x_o}}{\sqrt{k}}, \quad (10)$$

где

$$k = \frac{8\pi R^4 (2\dot{R}^2 + R \ddot{R})}{3V_o}, \quad (11)$$

Принимая равномерное распределение пузырьков, расстояние между двумя пузырьками может быть аппроксимировано следующим образом

$$x_o = \frac{1}{2} \cdot C_b^{\frac{1}{3}}, \quad (12)$$

где  $C_b$  - концентрация пузырьков.

Вероятность коалесценции двух пузырьков в заданном промежутке времени, обратно пропорциональна времени, необходимому для ее возникновения. Динамика пузырьков весьма непредсказуема и сила притяжения между пузырьками не всегда заканчивается коалесценцией [14].

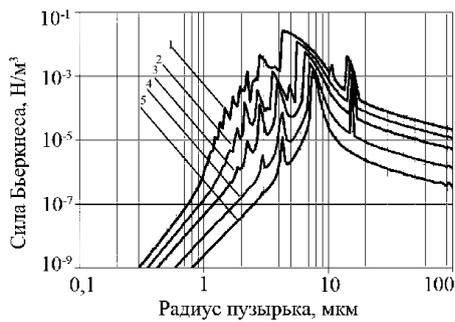


Рис. 1. Сила Бьєркнеса для різних значень амплітуди високоенергетического ультразвуку, кПа: 1 - 124; 2 - 91; 3 - 62; 4 - 31; 5 - 16

Поскольку акустическая энергия рассеивается на пузырьках, то при большой концентрации пузырьков, в той же точке пространства акустическая энергия и скорость роста пузырьков будет меньше. В зависимости от концентрации пузырьков, абсорбция, акустическое давление и вторичная сила Бьєркнеса пересчитываются на каждом временном шаге[15]. Число коалесцирующих пузырьков  $C_c$  в  $i$ -м участке может быть рассчитано из следующего выражения[8,9]

$$C_c^i = P_c \cdot C_b^i, \quad (13)$$

Вероятность коалесценции может быть вычислена по формуле

$$P_c = h \cdot \frac{C_b^i}{\sum_i C_b^i}, \quad (14)$$

Комбинируя эти эффекты, возможно изменить вероятность коалесценции следующим образом

$$P_c = h \cdot \sqrt{C_b^i} \sqrt{k_a}, \quad (15)$$

где  $h$  - параметр калибровки,  $k_a$  - параметр вторичной силы Бьєркнеса  $k$  модифицированный с учетом абсорбции.

Для формирования заданного распределения газовых пузырьков по размерам, которое бы совпадало с распределением 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 способ параллельного распределения с использованием группы ультразвуковых одноэлементных пьезопреобразователей.

При формировании распределения газовых пузырьков по размерам при помощи предложенного способа, газовые пузырьки подвергаются воздействию группы пьезопреобразователей, которые имеют различные характеристики. Численно это воздействие может быть выражено путем взвешенной суммы индивидуальных распределений пузырьков по размерам, создаваемых каждым источником

$$F(x) = \sum_{i=1}^N a_i \cdot f_i(x), \quad (16)$$

при

$$\sum_{i=1}^N a_i = 1, \quad 0 \leq a_i \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (17)$$

где  $N$  - число элементов решетки,  $a_i$  - весовые коэффициенты, которые можно рассматривать, как априорные вероятности выборки пузырьков, формируемых  $i$ -пьезопреобразователем;  $f_i(x)$  - является функцией распределения пузырьков по размерам, формируемым  $i$ -пьезопреобразователем при условии, что остальные элементы не задействованы.

Для достижения желаемых результатов необходимо иметь возможность генерировать ультразвуковые колебания с большими амплитудами, и управлять параметрами луча, что достаточно проблематично при использовании группы одноэлементных пьезопреобразователей.

Для решения этой проблемы предлагается формировать управляющее воздействие на основе динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука с использованием технологии фазированных решеток, имеющих 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 посредством компьютерной программы [16].

При использовании метода фазированных решеток генерируется ультразвуковой луч с настраиваемыми углом ввода, фокусным расстоянием и размером фокусного пятна. При этом также можно настроить генерирование луча в разных секторах фазированной решетки. Эти функции открывают целый ряд новых возможностей.

Например, можно быстро изменить параметры угла и направление воздействия не передвигая датчик. Таким образом, эта технология заменяет собой целую гамму датчиков, а также некоторые механические компоненты.

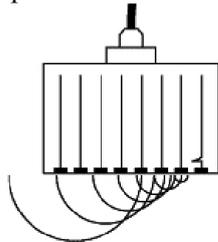


Рис. 2. Ультразвуковая фазированная решетка с настраиваемым углом ввода

Технология работы фазированного пьезоэлектрического преобразователя построена на принципе интерференции волн. В отличие от классического пьезоэлектрического преобразователя фазированный пьезоэлектрический преобразователь представляет собой набор нескольких независимых пьезоэлектрических пластин (преобразователей) [17].

Использование нескольких независимых источников ультразвуковых волн позволяет генерировать результирующую ультразвуковую волну с заранее заданными параметрами.

Основную роль в процессе генерации суммарной волны играют временные задержки между тактами генерации ультразвуковой волны каждым источником.

Таким образом, управляя временными задержками в фазированном пьезоэлектрическом преобразователе, можно генерировать результирующую ультразвуковую волну с различными углами ввода без использования различных наклонных призм.

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.

На рис. 3 представлена структура системы автоматического управления распределением газовых пузырьков по размерам на базе ультразвуковых фазированных решеток для реализации предлагаемого способа. На вход системы поступает информация о параметрах твердой фазы и вычислительное устройство определяет параметры газовой фазы. Далее сигнал передается на регулирующее устройство, в котором задают необходимую амплитуду и частоту ультразвуковых колебаний. Затем формирователь управляющего воздействия передает электромагнитный сигнал на ультразвуковую фазированную решетку, после чего пульпа с пузырьками подвергается воздействию высокоэнергетического ультразвука, излучаемого элементами решетки, что позволяет сформировать заданное распределение газовых пузырьков по размерам. Чтобы поддерживать или изменять требуемую амплитуду и частоту используется адаптивный алгоритм управления, управляющий мощностью каждого отдельного элемента решетки.

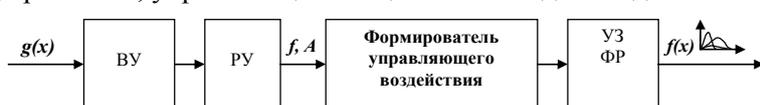


Рис. 3. Система автоматического управления распределением газовых пузырьков по размерам на базе технологии ультразвуковых фазированных решеток

Согласно этому способу, процесс флотации осуществляется следующим образом. В пульпу, представляющую собой смесь тонкоизмельченной руды с водой, загружаются флотационные реагенты, изменяющие

степень смачиваемости поверхности минералов. Под действием флотационных реагентов поверхность одних минеральных частиц смачивается водой, т.е. становится гидрофильной, а поверхность других не смачивается водой, т.е. становится гидрофобной. Исходная пульпа, обработанная реагентами, подается в первую камеру. Находящиеся в этой камере успокоительные пластины гасят вращательное движение пульпы и создают спокойную зону в верхней части камеры, где происходит минерализация пузырьков. Воздух поступает принудительно под избыточным давлением в аэратор через полый вал. Вал перфорирован на участке, находящемся в

блоке подшипников. В этот блок воздух подается через воздушный коллектор и трубу от воздухоудовки. Затем воздух поступает на импеллер и диспергируется. Пульпа аэрируется и переходит в последующую камеру, через окно в междукламерной перегородке. Образовавшиеся на этом этапе пузырьки воздуха, подвергаются воздействию высокоэнергетического ультразвука, с заданной амплитудой и частотой, излучаемого элементами ультразвуковой фазированной решетки, управляемой системой автоматического управления распределением газовых пузырьков по размерам с обратной связью и закрепленной на внешней стенке камеры флотационной машины. Гидрофобные частицы прилипают к пузырькам и выносятся на поверхность пульпы, где образуют слой минерализованной пены, которая снимается в виде пенного продукта.

**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. Medwin H. Counting bubbles acoustically: a review. *Ultrasonics*, 1977, 15: 7-13.
2. MacIntyre F. On reconciling optical and acoustical bubble spectra in the mixed layer," in "Oceanic Whitecaps. edited by Monahan, E.C. and Macniocail, G., Reidell, New York, 1986:75-94.
3. Ohern T, Torczynski J, Tassin S, et al. Development of an Electrical Impedance Tomography System for an Air-Water Vertical Bubble Column. *Proceedings, Forum on Measurement Techniques in Multiphase Flows, ASME IMECE, San Francisco, CA, USA, 1995.*
4. Xiong-jun Wu, Georges L. Chahine. Development of an acoustic instrument for bubble size distribution measurement. 9-th International Conference on Hydrodynamics. Shanghai. 2010 p.1-7
5. П.Е.Токмаков, И.Н.Диденкулов, Н.В.Прончатов-Рубцов. Движение пузырьков в акустическом резонаторе с потоком жидкости. Труды Научной конференции по радиофизике, ННГУ, 2003
6. И.Н.Диденкулов, Н.В.Прончатов-Рубцов, Д.А.Селивановский, П.Е.Токмаков, В.В.Чернов. Динамика газовых пузырьков в сильном акустическом поле. Труды Научной конференции по радиофизике, ННГУ, 2001
7. П.Е.Токмаков, И.Н.Диденкулов, Н.В.Прончатов-Рубцов. Влияние потока на поведение газового пузырька в акустическом резонаторе. Труды Научной конференции по радиофизике, ННГУ, 2004.
8. Iida, Y., Ashokkumar, M., Tuziuti, T., Kozuka, T., Yasui, K., Towata, A., Lee, J.: Bubble population phenomena in sonochemical reactor: I Estimation of bubble size distribution and its number density with pulsed sonication – Laser diffraction method. *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 17, 2010, pp. 473-479.
9. Iida, Y., Ashokkumar, M., Tuziuti, T., Kozuka, T., Yasui, K., Towata, A., Lee, J.: Bubble population phenomena in sonochemical reactor: II. Estimation of bubble size distribution and its number density by simple coalescence model calculation. *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 17, 2010, pp. 480-486.
10. T. Sile, J. Virbulis, A. Timuhins, J. Sennikovs, U. Bethers. Modelling of Cavitation and Bubble Growth During Ultrasonic Cleaning Process. *International Scientific Colloquium Modelling for Material Processing Riga*, 2010
11. Parlitz, U., Mettin, R., Luther, S., Akhatov, I., Voss, M., Lauterborn, W.: *Spatio-temporal dynamics of acoustic cavitation bubble clouds*. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.*, Vol. 357, 1999, pp. 313-334.
12. Leighton T.G.: *The Acoustic Bubble*. Academic Press, 1997, 613 pp
13. Mettin, R., Akhatov, I., Parlitz, U., Ohl, C.D., Lauterborn, W.: *Bjerknes forces between small cavitation bubbles in a strong acoustic field*. *Physical Review E*, Vol.56, 1997, No.3, pp. 2924-2931.
14. Donikov A.A.: *Translational motion of two interacting bubbles in a strong acoustic field*, *Physical Review E*, Vol.64, 2001, pp. 026301.
15. Красильников, В.А., Крылов, В.В.: Введение в физическую акустику, Наука, Москва, 1984.
16. Introduction to Ultrasonic Technology Applications. *Advanced Practical NDT Series*. - KJII, R/D Tech, 2007 г. /Введение в технологию применения ультразвуковых фазированных решеток. - Перевод С.В. Реука, 2011 г
17. Режим доступа - [http://www.pergam.ru/articles/articles\\_142.htm](http://www.pergam.ru/articles/articles_142.htm)

Рукопись поступила в редакцию 19.03.13

УДК 622.73-52

И.А. МАРИНИЧ, ст. преподаватель, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ

Приведено обоснование применения интеллектуальных систем управления базирующихся на технологиях нейронного управления и искусственного интеллекта.