

14. **Bogacz J** / Z zagadnien ochrony cieplnej budynkow. – “Przegląd Budowlany”, 1972, №12, s.645-650 (польск.).
15. ДСТУ Б В.2.7-105-2000 (ГОСТ 7076-99) Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі.
16. **Соловьева Р.Ф.** Определение коэффициента теплопроводности в зависимости от потенциала влажности. - Строительные конструкции, строительная физика. Вып.9, 1978. – М., ЦИНИС Госстроя СССР.
17. **Вилнитис М.Я** Исследования процессов высыхания и теплового потока стен из газобетона AEROC / **Вилнитис М.Я., Новикс Ю.О., Паплавскис Я.М.**// Збірник Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2007. - №24 – С.101-105.
18. Применение ROCKWOOL: http://www.atmarket.kiev.ua/primenenie_rockwool.html
19. Теплоизоляция на неорганической основе. Перлитцементные плиты и скорлупы, перлитофосфогелевые и перлитопласт-бетонные плиты. Термоперлит, вспученный вермикулит: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-126-terploizolyaciya/5.htm>.

Рукопис подано до редакції 17.03.14

УДК 621.926: 34.16

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук., проф.,
А.В. ПИКИЛЬНЯК, главный специалист по информационным технологиям,
Н.Н. БЕРЕЖНОЙ, д-р техн. наук, проф., Криворожский национальный университет
Е.И. НАЗИМКО, д-р техн. наук, проф., Донецкий национальный технический университет"

АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ 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, на базе технологии ультразвуковых фазированных решеток.

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

Проблема и ее связь с практическими задачами. В настоящее время не существует единой теории, описывающей однозначно такой важный этап, как взаимодействие твердой минеральной частицы с поверхностью воздушного пузырька и образование флотационного комплекса "минерал-пузырек".

Анализ исследований и публикаций. Главной причиной различия флотационного поведения минералов является различная гидратированность поверхности, которая обусловлена энергией взаимодействия диполей воды с ионами решетки твердой фазы и определяется степенью некомпенсированности зарядов на поверхности частиц. Активность поверхности минералов по отношению к воде и флотационным реагентам определяется ее энергетическим состоянием.

Результаты взаимодействия минерала с водой зависят не только от его свободной поверхностной энергии, но и от энергии взаимодействия молекул воды между собой, т.е. от явлений адгезии и когезии.

Исследованиями **Б.В. Дерягина** и др. установлено, что свойства гидратных слоев отличаются от свойств воды в объеме. Они имеют повышенную вязкость, пониженные растворяющую способность и скорость диффузии растворенных веществ. Эти особенности связаны с высокой прочностью сцепления ориентированных диполей воды между собой и с поверхностью минерала. Гидратированность частиц определяется в основном устойчивостью гидратного слоя, а не его толщиной.

Исследованиями **А.Н. Фрумкина** установлено, что под прилипшим к твердой поверхности пузырьком воздуха остается остаточный гидратный слой толщиной от 3 до 400 Å. Остаточный слой расположен по всей площади основания пузырька и не препятствует прилипанию. Это объясняется особым состоянием молекул воды в нем. При этом образуется как бы новая пленочная фаза, отличная по свойствам от свойств воды в объеме. Толщина остаточного слоя тем меньше, чем более гидрофобна поверхность минерала. Структура и устойчивость гидратных слоев зависит также и от состояния воды.

Флотируемость минерала определяется суммарным эффектом, вызываемым гидратным слоем молекул воды и адсорбционным слоем реагента.

Взаимодействие воды и находящихся в ней ионов с минералами изменяет не только их состав, но и электрическое состояние поверхности. На поверхности частиц образуется двойной электрический слой (ДЭС). Во флотационной пульпе образование ДЭС осложняется еще и присутствием различных ионов с разными зарядами и размерами в зависимости от состава руды, наличием ионов солей в воде и ионами реагентов. ДЭС оказывает большое влияние на смачиваемость поверхности минерала, т.к. образование его внешней обкладки происходит в зоне расположения гидратных слоев. Кроме того, ионы веществ, растворенных в воде, взаимодействуют с внешней и внутренней обкладками ДЭС.

Одним из определяющих процессов является возникновение флотационного комплекса «минерал-пузырек» в ходе элементарного акта флотации. При этом формируется трехфазный периметр смачивания и минимальный краевой угол, необходимый для первоначального прилипания. Образование флотационного комплекса условно делят на три этапа, каждый из которых отличается природой преобладающих сил.

В ходе исследований получили развитие термодинамический анализ прилипания минеральных частиц к воздушному пузырьку и кинетический. При термодинамическом анализе изучались условия устойчивого существования флотационного комплекса. Получили развитие две термодинамические трактовки прилипания, которые называют адсорбционной и капиллярной теориями.

Адсорбционная теория полагает, что частица, покрытая гидратной пленкой, связана с пузырьком аполярными частями адсорбированных на ее поверхности молекул собирателя. Образование такого комплекса приводит к появлению новой единичной поверхности раздела «твердое-газ» и к уменьшению свободной поверхностной энергии в соответствии с фундаментальными положениями термодинамики.

Капиллярная теория прилипания рассматривает изменение свободной поверхностной энергии системы в процессе образования флотационного комплекса. При этом изучается изменение краевого угла смачивания как косвенной оценки разности трудно определяемых поверхностных энергий на разделе «твердое-газ» и «твердое-жидкость».

Кинетические исследования были направлены на изучение скорости и механизма отдельных этапов процесса прилипания. В камере флотационной машины на образовавшийся флотационный комплекс действует ряд сил, стремящихся оторвать частицу от пузырька: сила тяжести частицы, силы трения и инерции. Отрывающими могут быть и силы столкновения пузырьков друг с другом, с деталями машины, силы трения пузырьков о пульпу и о другие пузырьки. Наибольшее влияние имеют силы инерции, которые пропорциональны массе частиц. Чтобы флотационный комплекс не разрушился, частица должна закрепиться прочно.

При кинетическом подходе было определено критическое время индукции и влияние на его значение крупности частиц, возраста пузырька, электролитов, гидродинамики обтекания пузырька, температуры среды.

Считается, что разрушение прослойки воды осуществляется одним из трех способов:

при ударе частицы с пузырьком;

при скольжении частицы по поверхности пузырька;

при засасывании частиц вихревыми потоками в кормовой зоне пузырька с последующим их взаимным ударением.

Удар частицы о поверхность пузырька имеет большое значение для разрушения гидратной прослойки. Удар, способствуя внедрению частицы на некоторую глубину в диффузный гидратный слой, уменьшает время скольжения, необходимое для прилипания частицы к пузырьку. Вероятность прилипания при скольжении тем больше, чем меньше время контакта необходимо для разрушения гидратной прослойки. Параметры частицы при скольжении зависят от точки начального соприкосновения частицы с пузырьком [1-4].

Таким образом, определяющее значение для образования флотационного комплекса имеет скорость утончения остаточного гидратного слоя. Чем менее гидратирована поверхность частиц, тем быстрее они прилипают к пузырькам и тем меньше энергии требуется затратить при этом.

Пузырьки воздуха играют положительную роль, являясь носителями частиц флотируемого минерала. Адсорбция газов из атмосферы на поверхности минеральных частиц образует газовые пленки, гидрофобизирующие минерал. Адсорбция газов может изменять поверхностные свойства минералов, например окисление сульфидов кислородом ухудшает флотируемость.

Большое значение для флотации имеет растворимость воздуха в воде и ее изменение в зависимости от температуры и давления. Газы, активно взаимодействующие с водой (углекислый и сернистый газы, сероводород, аммиак и др.), растворяются в значительных количествах. При растворении смеси газов (например, воздуха) растворимость каждого из составляющих зависит от его парциального давления в смеси (закон Генри).

В местах перепада давлений во флотационных машинах активно выделяются воздушные пузырьки из раствора. На использовании таких пузырьков основано применение ряда типов флотационных машин. Первоначально закрепившиеся на поверхности минеральных частиц микропузырьки, выделившиеся из раствора, активируют прилипание к этим частицам крупных пузырьков и в итоге интенсифицируют процесс флотации в целом.

Для успешного ведения процесса флотации наряду с большим числом других параметров необходимо обеспечивать определенную крупность пузырьков и скорость их всплытия.

Рассмотренные выше в общих чертах основные факторы, влияющие на успешное ведение флотации, позволяют определить направления интенсификации процесса. Условно их можно разделить на технологические и конструктивные. К технологическим относятся поиск и разработка новых реагентов, исследование реагентных режимов и определение рациональных для каждого вида сырья, условия подготовки реагентов и введения их в процесс, способы обработки питания флотации реагентами и методы его подготовки и др.

Конструктивные направления предполагают разработку конструкций флотационных камер и аэраторов, обеспечивающих усреднение пульпы, необходимую степень аэрации, гранулометрический состав воздушных пузырьков, снижение отрывающих сил инерции, своевременный сьем флотационной пены, высокую производительность, снижение металло- и энергоемкости оборудования.

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. Перспективным направлением формирования функции распределения газовых пузырьков по размерам является использование регулируемого воздействия динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука.

Управление может быть реализовано путем изменения интенсивности и частоты ультразвукового воздействия. Воздействие на поток пульпы высокоэнергетическими ультразвуковыми колебаниями определенной интенсивности и частоты приводит к изменению концентрации газовых пузырьков и перераспределению их по размерам.

Характер этого перераспределения зависит от размеров самих пузырьков, частоты и интенсивности воздействующего излучения [5]. Для решения поставленной задачи удобно формировать управляющее воздействие на основе динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука с использованием технологии фазированных решеток, имеющей ряд преимуществ по сравнению с традиционными одноэлементными преобразователями.

При воздействии ультразвука на пузырек, окруженный жидкостью, он претерпевает изменения объема, соответствующие изменениям давления ультразвука.

Однако из-за вязкостных, тепловых потерь и ослабления радиационного давления на границе газ-жидкость, ультразвуковые колебания вызывают радиальные колебания пузырька, влияющие на его объем и приводят к перемещению пузырька в пространстве. Пузырек принимает трансляционное движение. На рис. 1 представлена зависимость возбуждающего давления P от времени t , которое задается в виде короткого импульса, полученная при моделировании программно-техническими средствами пакета Bubblesim (Matlab) [7]. Аналоговый импульсный сигнал давления в частотной области с помощью спектральной функции представлен на рис. 2.

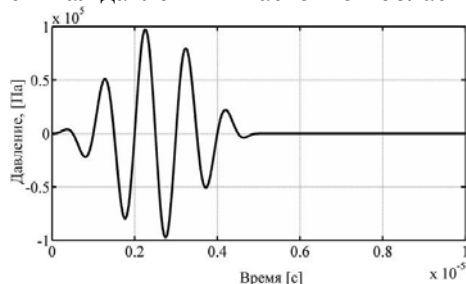


Рис. 1. Зависимость давления ультразвукового импульса от времени для амплитуды давления 100 кПа и частоты 1 МГц

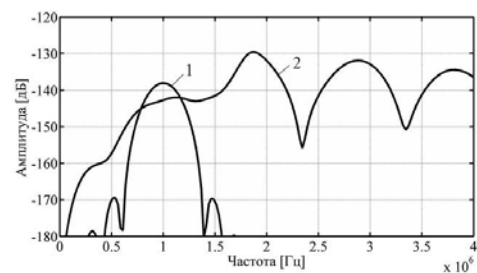


Рис. 2. Спектр мощности сигнала давления $P(t)$, как функция амплитуды A этого сигнала от его частоты f

На рис. 3 показана зависимость радиуса газового пузырька от времени для ультразвукового воздействия с амплитудой давления 100 кПа и частотой 1 МГц. На рис. 4 изображено пульсацию газового пузырька согласно уравнению Рэля-Плессета при его свободных колебаниях, и под действием ультразвуковой волны, полученную при моделировании программно-техническими средствами пакета Matlab.

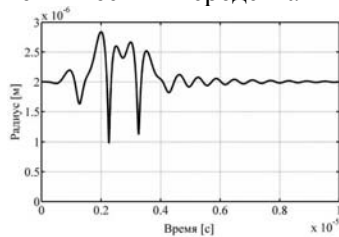


Рис. 3. Зависимость радиуса газового пузырька от времени для ультразвукового воздействия с амплитудой 100 кПа и частотой 1 МГц

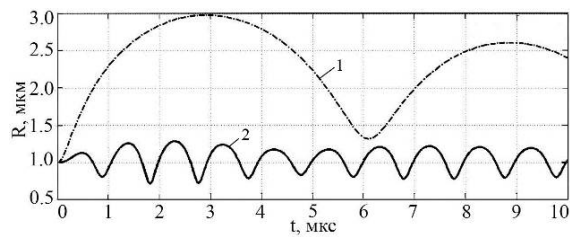


Рис. 4. Пульсации газового пузырька в воде согласно уравнению Рэля-Плессета (1 – свободные колебания, 2 – под действием ультразвуковой волны с частотой 1 МГц и амплитудой давления 25 кПа)

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

Выводы. Исследованы процессы изменения размеров газового пузырька в пульпе под воздействием динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука. Результатом исследований стало описание нелинейных колебаний пузырька и сравнение полученных зависимостей изменения его размера с течением времени в обычных для него условиях и под воздействием ультразвуковой волны с заданной частотой и интенсивностью. Результаты моделирования процесса воздействия 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. Гарковенко Е.Е. Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, А.И. Самойлов и др. // Донецк: Норд-Пресс, 2002. - 266 с.
2. А.С. Голиков, В.Г. Науменко, С.О. Федосеева, Е.И. Назимко Моделирование работы водно-шламовой системы, процессов обезвоживания и флотации при обогащении угольных шламов // ГИАБ - 2013 - №2. - С. 75-81.
3. A.N. Korchevskiy, Ye.I. Nazimko at al. Simulation of coal separation and dehydration processes // Proceedings of XVII International Congress of Coal Preparation. – Turkey. – 2013. – P. 495-501.
4. Lena Nazimko, Nataliya Zviagintseva, Alona Nad Modelowanie elementarnego aktu flotacji (Modeling of Flotation Elementary Act) // Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society - 2013. – Rocznik XIV - №1(31) - p. 43-48.
5. V. Morkun Iron ore beneficiation processes optimization / [V. Morkun, S. Goncharov, A. Pikilnyak, A. Krivenko].- ТЕКА. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, 2012.- Vol. 12.- №4.- P.162-166.
6. Kohout B., Transducer Array Calculation (TAC) GUI., <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/35657-transducer-array-calculation-tac-gui>.
7. Hoff L. Ultrasound Contrast Bubble Simulation, <http://home.online.no/fam.hoff/Bubblesim/Bubblesim.htm>

Рукопись поступила в редакцию 15.04.14

УДК 621: 622.276

В.М. ОРЛОВСЬКИЙ, канд. техн. наук., доц.

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

ТЕРМОСТІЙКІ ТАМПОНАЖНІ МАТЕРІАЛИ, ЩО РОЗШИРЮЮТЬСЯ ПРИ ТВЕРДІННІ

Наведена характеристика чинників, що впливають на якість розмежування пластів. Проведено аналіз якості цементування обсадних колон на бурових підприємствах України. Запропоновано нові термостійкі тампонажні матеріали, що розширюються при твердінні, для цементування глибоких нафтових і газових свердловин.

Ключові слова: цементне кільце, термостійкий тампонажний матеріал; тампонажний матеріал, що розширюється