ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В КОНДИЦИОНИРУЮЩИХ КАМЕРАХ ФЛОТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ. КРИТЕРИЙ КЭМПА

MIXING PARAMETERS IN AIR CONDITIONING CHAMBERS OF FLOTATION APPARATUS. CAMP CRITERION

УДК 621

Голюдова Алина Юрьевна, Магистрант кафедры "Экология и промышленная безопасность", МГТУ им. Баумана, Россия, г. Москва

Golyudova Alina Yurievna, alina.golyudova@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются параметры перемешивания в кондиционирующих камерах флотационных аппаратов и критерий Кэмпа. Анализируются особенности этапа кондиционирования во флотационном процессе и существующие способы обработки в кондиционирующих камерах флотационных аппаратов. Приводится общая модель флотационного процесса, учитывающая все факторы его кинетики. Выявляются параметры перемешивания в камерах флотационных аппаратах и их связь с критерием Кэмпа.

Annotation. The article discusses the parameters of mixing in the conditioning chambers of flotation devices and the Camp criterion. The features of the conditioning stage in the flotation process and the existing treatment methods in conditioning chambers of flotation devices are analyzed. A general model of the flotation process is presented, which takes into account all the factors of its kinetics. The parameters of mixing in the chambers of the flotation devices and their connection with the Camp criterion are revealed.

Ключевые слова: параметры перемешивания, флотация, флотационный аппарат, флотомашина, критерий Кэмпа.

Key words: mixing parameters, flotation, flotation apparatus, flotation machine, Camp's criterion.

Введение

Основным технологическим процессом, используемым для обогащения полезных ископаемых, является флотация, заключающаяся в разделении компонентов раздробленной руды, которые обладают неодинаковой смачиваемостью поверхности [1]. Помимо этого, флотационная техника применяется для очищения сточных вод [2]. В основе метода флотации лежит различная способность гидрофильных и гидрофобных частиц оставаться на границе фазового раздела в жидкой среде: гидрофобные частицы соединяются с пузырьками воздуха и, поднимаясь на поверхность пульпы, формируют минерализованную пену, тогда как гидрофильные частицы сохраняются в объёме пульпы и оседают на дно флотационной камеры. Для искусственного изменения смачиваемости поверхностей используются специальные флотационные реагенты, дающие возможность влиять на параметры перемешивания во флотационных аппаратах, что способствует повышению эффективности процесса флотации.

Целью работы является изучение параметров перемешивания в кондиционирующих камерах флотационных аппаратов и критерия Кэмпа. Для её достижения были использованы методы анализа и синтеза научных публикаций и литературы по рассматриваемой теме.

Кондиционирование во флотационном процессе

Процесс флотации сточных вод проводится во флотационных аппаратах, оснащённых кондиционирующими камерами, в которых осуществляется подготовка очищаемой воды [3]. Кондиционирование представляет собой избирательную очистку сточных вод, в ходе которой осуществляется удаление с дальнейшей утилизацией только компонентов, негативно воздействующих на

селективную флотацию, и сохранение компонентов, требующихся для нормального протекания флотационного процесса. Кондиционирование является одной из наиболее значимых технологических операций, проводящихся перед флотацией, определяющей технологическую эффективность, скорость и экономику флотации.

Особую роль кондиционирование имеет во флотационном обогащении полезных ископаемых. Чтобы улучшить флотируемость минералов, необходимо обеспечить гидрофобность их поверхности, для чего применяются реагенты-собиратели. Повысить эффективность их действия возможно посредством применения кондиционирующих камер.

Способы обработки в кондиционирующих камерах флотационных аппаратов делятся на [4]:

1. Физико-химические. Сюда входит перемешивание пульпы с добавлением реагентов, позволяющее распределить вводимые реагенты по поверхностям раздела фаз и в объёме пульпы благодаря их диффузии, осуществляемой из водной фазы к поверхности минеральных частиц. Перемешивание завершается образованием на частицах сорбционных слоёв, обладающих оптимальной плотностью.

2. Физические, включающие следующие методы обработки водной фазы, реагентов или пульп:

- газовые, при которых проводится предварительное насыщение пульпы воздухом либо иными газами;
- термические, подразумевающие подогрев;
- электрохимические, при которых пульпа и реагенты обрабатываются в поле постоянного тока;
- ультразвуковые, применяющие ультразвук для кондиционирования газовой, твёрдой и жидкой фаз пульпы;
- электромагнитные, при которых на водную фазу, реагенты и пульпу оказывается воздействие электромагнитных полей;

• радиационные, использующие радиационное облучение компонентов пульпы.

Параметры перемешивания во флотационных аппаратах

Действенность применения флотационных аппаратов в соответствии с кинетической моделью процесса флотации зависит от параметров перемешивания – степени, эффективности, интенсивности и времени перемешивания. В общем случае модель флотации, учитывающая все факторы кинетики процесса, описывается следующей системой уравнений [5]:

$$\begin{cases} \frac{d\,C_A}{dt} = -k_1 C_A + k_2 C_B + k_5 C_C - k_6 C_A, \\ \frac{d\,C_B}{dt} = k_1 C_A - k_2 C_B - k_3 C_B + k_4 C_C, \\ \frac{d\,C_C}{dt} = k_6 C_A - k_5 C_C + k_3 C_B - k_4 C_C. \end{cases}$$

$$k_1 = \frac{1{,}5qE}{k_0 \overline{D}},$$

где q – скорость барботирования; E – эффективность захвата частиц поднимающимся газовым пузырьком во время флотации; k_0 – фактор полидисперсности пузырьков; $\overline{D}$ – средний показатель диаметра пузырьков во флотационной ячейке.

$$k_2 = AC_ф G_a M^2 C_{пп}^{-1},$$

где A – безразмерный коэффициент; $C_ф$ – концентрация флотокомплексов пузырёк-частица; M – соотношение диаметров частицы и отдельного пузырька; G_a – градиент скорости в области аэрации; $C_{пп}$ – степень концентрации пузырьков на подпенном уровне.

$$k_3 = \frac{V_{под}}{h},$$

где $V_{под}$ – скорость подъёма флотокомплекса; h – промежуток между пенным слоем и областью аэрации.

$$k_4 = FG_п C_п d_{ср}^3,$$

где F – коэффициент пропорциональности; $G_п$ – градиент скорости на подпенном уровне; $C_п$ – концентрация пузырьков в пенном слое; $d_{ср}$ – средний диаметр пузырьков в пене.

$$k_5 = \frac{V_{ос}}{h},$$

где $V_{под}$ – скорость осаждения частиц твёрдой фазы, которые выпадают из пенного слоя; h – промежуток между пенным слоем и областью аэрации.

$$k_6 = \psi \frac{\partial}{\partial x}\left\{\frac{1}{2\sqrt{\pi\psi t}}\left[\exp\left(-\frac{(x-h)^2}{4\psi t}\right) - \exp\left(\frac{(x+h)^2}{4\psi t}\right)\right]\right\},$$

где t – время; x – расстояние от границы пенного слоя; ψ – коэффициент диффузии частиц твёрдой фазы в жидкую; h – промежуток между пенным слоем и областью аэрации.

Процесс флотации при очистке воды находится в прямой зависимости от режима и продолжительности перемешивания [6]. Длительность, с которой осуществляется перемешивание, определяется температурой и свойствами воды, содержанием ингибирующих веществ, коллоидных загрязнений и прочего. Для увеличения производительности флотации эффективно применение механического высокоградиентного перемешивания. Выбор оптимального режима перемешивания осуществляется в соответствии с величиной градиента скорости G, $с^{-1}$ [7]

$$G = \sqrt{\frac{W}{\mu}} = \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\nu}},$$

где W – удельная мощность, которая затрачивается на перемешивание единицы объёма воды с реагентом, Па/с; ε_1 – диссипация энергии за единицу времени по отношению к единице массы среды, $м^2/с^3$; μ – динамический коэффициент вязкости, Па·с; ν – кинематический коэффициент вязкости, $м^2/с$.

Градиент G находится в прямой зависимости от температурных показателей воды в обычном интервале её значений [8]. Он выступает одним из важнейших параметров перемешивания. Его величина должна быть строго оптимальной для формирования флокул, представляющих собой рыхлое

скопление плотных крупных хлопьев, обладающих способностью к адсорбированию растворенных соединений, и для сохранения их в потоке воды, подвергаемой обработке. Обычно величина градиента скорости на этапе флокуляции составляет около 100 $с^{-1}$.

Поскольку время нахождения воды во флотационном аппарате τ также влияет на процесс флотации, используется безразмерный критерий Gτ, названный критерием Кэмпа. Он характеризует энергию, затрачиваемую на перемешивание. Согласно ряду исследований, средние значения критерия Кэмпа составляют $5 \cdot 10^3$-$1{,}8 \cdot 10^3$ [7]. Оптимальные значения критерия назначаются индивидуально, с учётом цветности, мутности и pH воды, а также типа реагента, применяемого в процессе. По этой причине на критерий Кэмпа можно ориентироваться только в случае работы с одинаковыми реагентами и водой, обладающей неизменным составом, ведь при изменении качеств исходной воды Gτ может существенно отклоняться от средних значений [8].

В случае чрезмерно продолжительного и интенсивного перемешивания воды образующиеся флокулы подвергаются необратимой разбивке, что становится причиной резкого ухудшения адгезионных свойств взвеси и приводит к замедлению дальнейшего хлопьеобразования. При перемешивании воды оптимальные значения градиента скорости находятся в диапазоне $110 < G < 450$ $с^{-1}$, что обусловлено необходимостью обеспечения малых энергозатрат с одновременным поддержанием высокой эффективности процесса флотации.

Заключение

Флотация представляет собой один из классических методов очистки сточных вод, обогащения полезных ископаемых и разделения различных сред на основе неоднородных свойств смачиваемости. Эффективность флотационной очистки зависит от типа применяемых флотационных аппаратов и заданных параметров перемешивания. Для выбора длительности, интенсивности и режима перемешивания в камерах флотационных машин используются данные о состоянии обрабатываемой воды и применяемых реагентах, на основании

которых задаётся оптимальный критерий Кэмпа, отражающий затрачиваемую на перемешивание энергию. Грамотный расчёт данного критерия даёт возможность обеспечить минимальные энергозатраты на проведение флотации с сохранением высокой эффективности этого процесса.

Список литературы

1. Ледян Ю.П., Селивончик В.В. Применение струйной аэрации для интенсификации процесса флотации // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2008. – № 6. – С. 52-55.
2. Зубарева Г.И. Флотация в технологических схемах очистки промышленных сточных вод // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 4. – С. 67-77.
3. Дубровская О.Г. Интенсификация процессов биологической очистки сточной воды предприятий пищевого комплекса на основе эффектов гидротермодинамической кавитации / О.Г. Дубровская, В.А. Кулагин, Т.А. Курилина, А.И. Матюшенко // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2018. – Т. 11, № 5. – С. 584-590.
4. Виноградов М.С. Интенсификация флотационной очистки сточных вод энергопредприятий с использованием кондиционирующих камер: дис. ... канд. техн. наук: 03.02.08 / Максим Сергеевич Виноградов; Москов. гос. тех. ун-т. – М., 2019. – 127 с.
5. Ксенофонтов Б.С. Развитие флотационной техники для очистки сточных вод и сгущения активного ила / Б.С. Ксенофонтов, А.С. Козодаев, Р.А. Таранов, М.С. Виноградов, М.В. Иванов, Е.В. Сеник, А.А. Воропаева // Безопасность в техносфере. – 2014. – Т. 3, № 5. – С. 58-73.
6. Воловник Г.И. Реконструкция систем водоснабжения и водоотведения населённых мест: учеб. пособие / Г.И. Воловник, Л.Д. Терехов. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2003. – 113 с.

7. Максимова С.В. Оценка эффективности процесса коагуляции примесей воды при использовании крупнозернистой контактной загрузки / С.В. Максимова, С.М. Салмин, Е.Ю. Осипова, Б.Р. Бокиев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – Т. 20, № 6. – С. 167-178.
8. Реконструкция и интенсификация сооружений водоснабжения и водоотведения: учеб. пособие / А.А. Василенко, П.А. Грабовский, Г.М. Ларкина, А.В. Полищук, В.Й. Прогульный. – Киев – Одесса: КНУСА, ОГАСА, 2007. – 307 с.

Bibliography

1. Ledyan Yu.P., Selivonchik V.V. The use of jet aeration for the intensification of the flotation process // Bulletin of the Belarusian National Technical University. - 2008. - No. 6. - S. 52-55.
2. Zubareva G.I. Flotation in technological schemes of industrial wastewater treatment // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture. - 2019. - T. 10, No. 4. - P. 67-77.
3. Dubrovskaya O.G. Intensification of biological wastewater treatment processes for food industry enterprises based on the effects of hydrothermodynamic cavitation / O.G. Dubrovskaya, V.A. Kulagin, T.A. Kurilina, A.I. Matyushenko // Journal of the Siberian Federal University. Series: Engineering and technology. - 2018. - T. 11, No. 5. - S. 584-590.
4. Vinogradov M.S. Intensification of flotation treatment of waste water from power plants using conditioning chambers: dis. ... Cand. tech. Sciences: 03.02.08 / Maksim Sergeevich Vinogradov; Moscow. state those. un-t. - M., 2019 .-- 127 p.
5. Ksenofontov B.S. Development of flotation technology for wastewater treatment and activated sludge thickening / B.S. Ksenofontov, A.S. Kozodaev, R.A. Taranov, M.S. Vinogradov, M.V. Ivanov, E.V. Senik, A.A. Voropaeva // Safety in the technosphere. - 2014. - T. 3, No. 5. - S. 58-73.

6. Volovnik G.I. Reconstruction of water supply and sewerage systems in populated areas: textbook. allowance / G.I. Volovnik, L.D. Terekhov. - Khabarovsk: Publishing house of FVGUPS, 2003 .-- 113 p.
7. Maksimova S.V. Evaluation of the efficiency of the process of coagulation of water impurities when using coarse-grained contact loading / S.V. Maksimova, S.M. Salmin, E.Yu. Osipova, B.R. Bokiev // Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. - 2018. - T. 20, No. 6. - S. 167-178.
8. Reconstruction and intensification of water supply and water disposal facilities: textbook. allowance / A.A. Vasilenko, P.A. Grabowski, G.M. Larkina, A.V. Polishchuk, V.Y. Walking. - Kiev - Odessa: KNUSA, OGASA, 2007 .-- 307 p.