

Погорелов О. А.,
 д-р техн. наук, профессор кафедры компьютерных наук,
 Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск, Украина
 olegpogorelow@yandex.ru
Аль-Джаноби Акиль Бахр,
 аспирант кафедры компьютерных систем,
 Черкасский государственный технологический университет, г. Черкассы, Украина
 akyel_eljanaby@mail.ru

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ ПО ВНЕШНЕМУ ВИДУ ФЛОТАЦИОННОЙ ПЕНЫ

В статье проанализирована зависимость между технологическими параметрами процесса флотации и визуальными характеристиками флотационной пены. Установлено, что наблюдаемый рост пузырьков на поверхности пены функционально связан со скоростью ее разрушения. Предложен вариант автоматического управления процессом флотации с использованием системы машинного зрения для контроля параметров флотационной пены.

Ключевые слова: процесс флотации; технологические параметры; визуальный контроль.

Постановка проблемы. Практика показывает, что операторы флотационных отделений обращают особое внимание на состояние флотационной пены при регулировании процесса. Наблюдение пены позволяет получить информацию о высоте пенного слоя, о его минерализации и засоренности частицами минеральных примесей. Кроме того, известно, что наиболее вероятный диаметр пузырьков пены увеличивается с уменьшением концентрации пенообразователя [1]. В работе [2] указывается, что по внешнему виду пены «можно довольно правильно судить о степени отрегулированности флотационного процесса».

Появление на рынке электронной аппаратуры систем технического зрения [3] позволяет осуществлять контроль пены в автоматическом режиме. Поэтому актуальной становится задача выявления зависимостей между технологическими параметрами процесса флотации и визуальными характеристиками флотационной пены, которые можно использовать при оценке процесса и разработке соответствующих систем управления.

Цель работы. Данная работа посвящена задаче выявления зависимостей между технологическими параметрами процесса флотации и визуальными характеристиками флотационной пены, которые можно использовать при оценке процесса и разработке соответствующих систем управления.

Теоретические основы. Флотационная пена формируется в результате поднятия воздушных пузырьков на поверхность. Обозначим буквами Q_0 и Q_1 – соответственно расходы воздуха, поступающего в пену из пулпы, и выходящего из нее в атмосферу в результате лопания пузырей. Пена является двухфазной средой и состоит из жидкой и газообразных фаз. Однако газообразная фаза является преобладающей [1]. Поэтому высоту пены можно определить следующим образом:

$$h(t) = \frac{1}{S_0} \int_0^t Q_0 dt - \frac{1}{S_0} \int_0^t Q_1 dt, \quad (1)$$

где S_0 – площадь поверхности флотационной камеры.

Формула (1) получена из соображений материального баланса. Воздух в пене движется снизу вверх. Объем пены (и ее высота соответственно) определяется скоростью подачи воздуха снизу и его потерями наверху. Расход Q_1 характеризует степень разрушения пены. Если $Q_1 = Q_0$, то пена не растет и процесс флотационного обогащения становится невозможным.

Определим *верхний слой пены* как ее часть, находящуюся в непосредственном контакте с атмосферой и имеющую толщину в один пузырек. Как и пена в целом, верхний слой состоит из тонких жидких пленок и заключенного между ними газа. Все пленки верхнего слоя разделим на три класса: а) *верхние*, непосредственно контактирующие с атмосферой; б) *боковые*, разделяющие пузыри верхнего слоя между собой; в) *нижние*, разделяющие пузыри верхнего и нижележащего слоев. Вследствие постепенного истончения пленок верхнего слоя они разрушаются. Скорость разрушения пленок зависит от концентрации пенообразователя и других факторов (например, температуры) [1]. Пусть частота разрушения пленок в верхнем слое в момент времени t равна dm/dt . При этом вероятность разрушения верхней пленки равна $-P_a$, боковой $-P_b$ и нижней $-P_c$ ($P_a + P_b + P_c = 1$).

Разрушение боковой пленки приводит к тому, что вместо двух маленьких пузырей образуется один большой. Таким образом суммарные потери количества пузырей в слое за время dt составят $P_b dm$. Разрушение верхней и нижней пленок не приводят к изменению наблюдаемого количества пузырей. В первом случае лопнувшие пузыри замещаются пузырями из нижеле-

жащего слоя, во втором – количество пузырей на поверхности вообще не изменится. Вследствие разрушения верхних пленок газ выходит из лопнувших пузырей в атмосферу. Расход теряемого пеной газа можно определить по формуле:

$$Q_1 = \frac{\bar{V}P_a dm}{dt}, \quad (2)$$

где \bar{V} – средний объем пузырька верхнего слоя.

Скорость изменения количества пузырей в слое равна:

$$\frac{dn}{dt} = -P_b \frac{dm}{dt}.$$

$$d\bar{s} = \bar{s}(t+dt) - \bar{s}(t) = \frac{S_0}{n+dn} - \frac{S_0}{n} = -\frac{S_0 dn}{n^2} = -\frac{\bar{s}^2 dn}{S_0} = \frac{\bar{s}^2(t)P_b Q_1(t)}{S_0 P_a \bar{V}(t)} dt.$$

Последнее выражение может быть преобразовано к виду:

$$\frac{d\bar{s}}{\bar{s} dt} = \frac{P_b Q_1(t) \bar{s}(t)}{S_0 P_a \bar{V}(t)}. \quad (4)$$

Определим средний размер пузырей на поверхности пены следующим образом:

$$\bar{a} = \sqrt{\frac{\bar{s}}{\alpha}},$$

где α – константа.

В этом случае $\bar{s} = \alpha \bar{a}^2$; $d\bar{s} = 2\alpha \bar{a} d\bar{a}$ и $\frac{d\bar{s}}{\bar{s} dt} = \frac{2d\bar{a}}{\bar{a} dt}$.

С учетом приведенного выражения формулу (4) можно переписать в виде:

$$\frac{d\bar{a}}{dt} = \frac{P_b Q_1(t)}{2S_0 P_a} \cdot \frac{\bar{a}(t) \bar{s}(t)}{\bar{V}(t)}.$$

Вполне естественно предположить, что

$$\frac{\bar{a}(t) \bar{s}(t)}{\bar{V}(t)} = const.$$

Окончательно можем записать

$$Q_1(t) = k S_0 \frac{d\bar{a}}{dt}, \quad (5)$$

где $k = \frac{2P_a}{P_b} \cdot \frac{\bar{V}(t)}{\bar{a}(t) \bar{s}(t)} = const$.

Формула (5) утверждает, что *рост пузырей верхнего слоя прямо пропорционален скорости разрушения пены*. С учетом этого выражение (1) можно переписать в виде:

$$h(t) = \frac{Q_0 t}{S_0} - k[\bar{a}(t) - \bar{a}_0], \quad (6)$$

где \bar{a}_0 – средний размер пузырей в момент времени $t=0$. В формуле (6) учтен тот факт, что расход поступающего из пульпы в пену воздуха Q_0 , пропорциональный скорости вращения импеллеров, практически не зависит от времени. В работе [2] указывается, что размер воздушных пузырьков в пульпе зависит от концентрации пенообразователя

С учетом формулы (2) можно записать:

$$dn = -\frac{P_b}{P_a} \cdot \frac{Q_1(t)}{\bar{V}(t)} dt. \quad (3)$$

Площадь поверхности пены, приходящаяся в среднем на один пузырек, равна

$$\bar{s} = \frac{S_0}{n},$$

где n – количество пузырей в верхнем слое в момент времени t .

По мере разрушения пены количество пузырей уменьшается, а \bar{s} растет. Элементарное приращение равно:

(с ростом концентрации пенообразователя размер пузырьков уменьшается). Приведенная в этой работе графическая экспериментальная зависимость может быть аппроксимирована выражением:

$$\bar{a}_0 = \frac{b_1 + b_2 Q_0 / S_0}{b_3 + b_4 C},$$

где C – концентрация пенообразователя, а b_1, b_2, b_3, b_4 – коэффициенты. От концентрации пенообразователя зависит также скорость роста пузырьков в пене. Таким образом, маленькие пузырьки свидетельствуют о достаточном количестве пенообразователя в пульпе.

В результате действия собирающих пену гребковых механизмов происходит движение пены к сливному желобу. В первую очередь в желоб попадают верхние слои пены с самыми крупными пузырями. В результате на поверхности оказываются пузыри нижележащих слоев, меньшие по размерам. Таким образом, процесс роста пузырей вследствие разрушения пены компенсируется выходом на поверхность менее крупных пузырей нижележащих слоев. Вследствие этого в стационарном режиме размер пузырей на поверхности пены может не зависеть от времени, а определяться только технологическими параметрами флотации (регентным режимом, скоростью работы гребковых механизмов и т. д.).

Реализация контроля. Установив видеокамеру над флотационной машиной, можно контролировать крупность пузырей на поверхности пены. На рис. 1 показана поверхность пены в камере флотационной машины, предназначенной для обогащения угля.

Поскольку края пузырей трудно различить на изображении, средний размер пузырей можно определять по количеству бликов, приходящихся на единицу поверхности изображения. Один блик соответствует одному пузырьку на поверхности пены. Выбрав на изображении однородно освещенный участок площадью S , и подсчитав с помощью системы компьютерного зрения количество бликов на этом участке n , можно определить средний размер пузырьков d по формуле:

$$d \approx \sqrt{\frac{S}{n}}.$$

Система комп'ютерного зрення может контролювати не только размер бульбашек, но и другие параметры пены, например, ее цвет и форму поверхности. Поверхность пены может быть ровной, а может иметь складчатую форму в зависимости от высоты пены, типа реагентов и природы обогащаемого материала.

Цвет пены несет информацию о степени засоренности пенного слоя минеральными примесями. Кроме того, систему комп'ютерного зрення может использоваться для контроля положения верхнего слоя пены с целью обеспечения оптимальной работы гребковых механизмов.

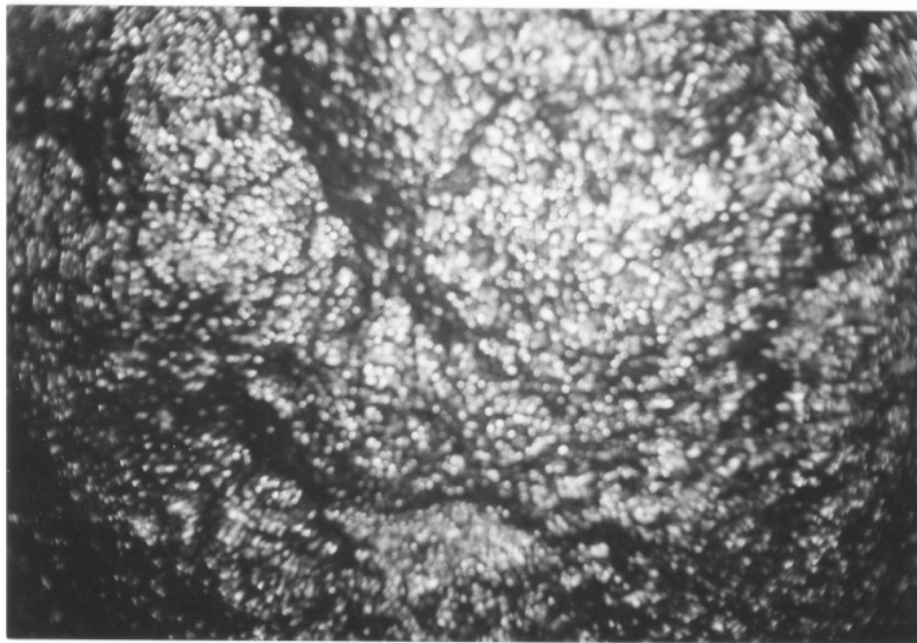


Рис. 1. Фотография поверхности флотационной пены, образующейся при обогащении угля

Безусловно, контроль поверхности флотационной пены не может заменить собой информации, поступающей от датчиков, измеряющих технологические параметры флотации. Однако такой контроль способен служить дополнительным средством, позволяющим более тонко различать состояние флотационного процесса и соответственно более точно управлять им.

Выводы. В работе была проанализирована зависимость между технологическими параметрами про-

цесса флотации и визуальными характеристиками флотационной пены. Установлено, что наблюдаемый рост пузырьков на поверхности пены функционально связан со скоростью ее разрушения. Предложен вариант автоматического управления процессом флотации с использованием системы машинного зрення для контроля параметров флотационной пены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихомиров В. К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения / В. К. Тихомиров. – 2-е изд., перераб. – М. : Химия, 1983. – 264 с., ил.
2. Глембоцкий В. А. Флотация / В. А. Глембоцкий, В. И. Классен, И. Н. Плаксин. – М. : Госгортехиздат, 1961. – 461 с., ил.
3. Соколов Г. Новейшие тенденции и перспективы развития систем машинного зрення / Г. Соколов // Мир компьютерной автоматизации. – 2000. – № 3. – С. 17–19.

*Погорелов О. О., Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Луганськ, Україна
Аль-Джанабі Акіл Бахр, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна*

ОЦІНКА ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ ФЛОТАЦІЇ ЗА ЗОВНІШНІМ ВИГЛЯДОМ ФЛОТАЦІЙНОЇ ПІНИ

У статті проаналізовано залежність між технологічними параметрами процесу флотації і візуальними характеристиками флотаційної піни. Встановлено, що спостережуване зростання бульбашок на поверхні піни функціонально пов'язане із швидкістю її руйнування. Запропонований варіант автоматичного управління процесом флотації з використанням системи машинного зору для контролю параметрів флотаційної піни.

Ключові слова: процес флотації; технологічні параметри; візуальний контроль.

*Pogorelov O. A., Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Luhansk, Ukraine
Al-Janabi Aqeel Bahr, Cherkassy State Technological University, Cherkassy, Ukraine*

**ESTIMATION OF QUALITY OF PROCESS OF FLOTATION OF A SOFTWARE TO APPEARANCE
FLOTATION OF FOAM**

Dependence between technological parameters of process of flotation and visual characteristics flotation foams is analyzed. It is installed that observable growth of vials on a foam surface is functionally connected to speed of its corrupting. The variant of automatic control by process of flotation with usage of system of machine vision for control of parameters flotation foams is offered.

Key words: *flotation process; technological parameters; visual control.*

© Погорелов О. А.,
Аль-Джанаби Акиль Бахр, 2014

Дата надходження статті до редколегії 20.12.2014 р.