

УДК 622.928

В.И. КРИВОЩЕКОВ канд. техн. наук,**И.Н. МАЦЮК**

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

БЕЗРЕАГЕНТНАЯ ФЛОТОСЕПАРАЦИЯ: МЕТОД И УСТРОЙСТВО

Флотація угольних шламов протікає тільки при використанні реагентів, хоча вугілля є гідрофобним. Її застосування не тільки як методу збагачення шламов, але й очищення оборотних вод дозволило перевести ряд фабрик на роботу за раціональними замкнутими водно-шламовими схемами. Однак ефективність роботи операцій водно-шламової схеми низька, а процес флотації проводиться частіше не так як це вимагається технологічним регламентом.

На вуглеобогатительних фабриках для переробки шламов найбільше поширення отримали механічні імпульсні флотомашини, в яких повітря засасується імпульсом внаслідок проходження через нього пульпи, а також значущої внутрикамерної циркуляції. Чим більший об'єм пульпи проходить через імпульс (при інших рівних умовах), тим більший об'єм повітря ним засасується (до визначених меж).

Виброшена імпульсом пульпо-повітряна суміш переміщується знизу вгору в напрямку його обертання. Повітряні бульбашки за рахунок підйомної сили прагнуть найкоротшим шляхом всплыть на поверхню пульпи в флотокамері, але їх траєкторія ускладнюється з деяким гальмуванням в турбулентних потоках. Якщо вважати, що мінералізація повітряних бульбашок відбувається майже миттєво в зонах викиду пульпо-повітряної суміші з імпульса, то час перебування комплексу "мінерал-бульбашка" в флотаційній камері повинно бути мінімальним.

Отже, необхідність внутрикамерної циркуляції для ежекції атмосферного повітря, а також збільшення частоти обертання імпульса з метою достатнього перемішування пульпи і диспергування поступаючого в камеру флотомашини повітря знаходяться в протиріччя з потребою створення спокійної зони в об'ємі камери для ефективного виділення мінералізованих повітряних бульбашок.

Для покращення умов всплывання бульбашок і їх концентрації в пінному шарі в камерах флотомашин встановлюють заспокоювальні решітки, перегородки і пр. Однак це не дає бажаного результату і

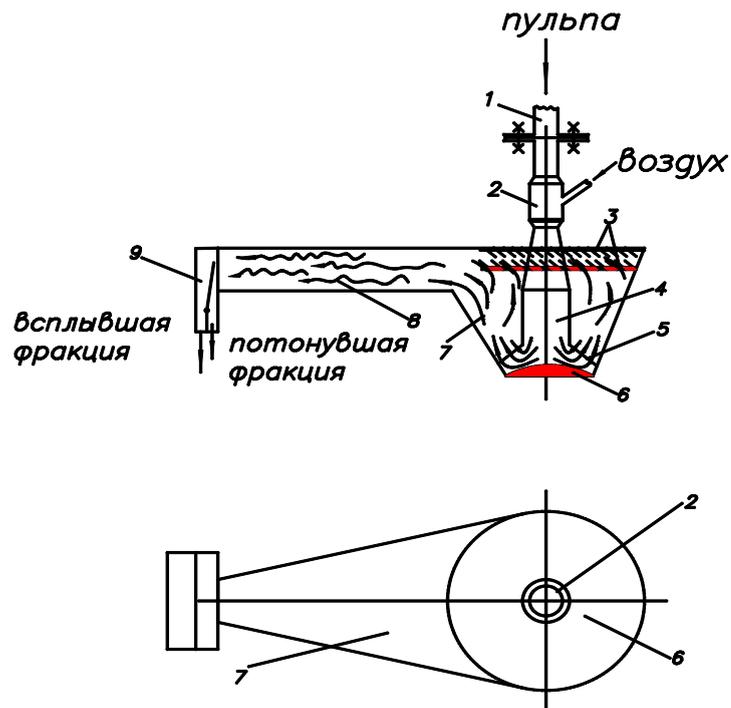
всплывание происходит в неблагоприятных условиях. Поэтому можно считать, что не весь объем флотационной камеры является эффективным, т. е. таким, в котором условия движения пульпы способствуют всплыванию воздушных пузырьков или же не тормозят их.

Анализ движения и распределения пульпо-воздушных потоков в камере машин показывает, что протеканию более эффективной флотации препятствуют неупорядоченные турбулентные потоки пульпы и внутрикамерная циркуляция, ограничивающих скорость всплывания минерализованных воздушных пузырьков в пенный продукт, а также загрузка исходной пульпы и, особенно, разгрузка продуктов обогащения флотационной камеры.

Из показателей работы и теоретического анализа аэрационных параметров следует, что для усовершенствования флотационной машины необходимо рациональное сочетание аэратора и камеры, интенсифицирующих выделение минерализованных воздушных пузырьков.

Опыт эксплуатации эжекторной флотационной машины показывает, что она по сравнению с машинами других типов обладает рядом преимуществ: из-за простоты конструкции ее можно изготавливать в механических мастерских фабрик; небольшая металлоемкость позволяет устанавливать ее на любых перекрытиях здания; компоновка флотационных камер, аэраторов-эжекторов и насосов может быть самой разнообразной, а ремонт машины заключается только в замене турбинки насоса и насадки аэратора-эжектора.

Особенность нового безреагентного флотосепаратора для переработки угольного шлама (рис. 1) состоит в том, что к суживающемуся желобу примыкает флотационная камера с аэратором-эжектором. Шламная вода, поступающая во флотосепаратор, подвергается разделению на две фракции: потонувшую и всплывшую.



1. Трубопровод
2. Аэратор-эжектор
3. Успокоительная решетка
4. Трубопровод пульповоздушной смеси
5. Успокоительная решетка
6. Отбойная плита – распределитель пульповоздушной смеси
7. Флотокамера
8. Суживающийся желоб
9. Приемник продуктов разделения

Рис. 1. Принципиальная схема безреагентного флотосепаратора:

- 1 – трубопровод; 2 – аэратор-эжектор; 3 – успокоительная решетка;
 4 – трубопровод пульпо-воздушной смеси; 5 – успокоительная решетка;
 6 – отбойная плита – распределитель пульпо-воздушной смеси; 7 – флотокамера;
 8 – суживающийся желоб; 9 – приемник продуктов сепарации с шибером

В основу конструкции флотосепаратора положены следующие принципы:

1. Процессы аэрации пульпы, минерализации воздушных пузырьков и выделения последних из пульпы должны протекать при различных гидродинамических режимах, а именно: аэрация пульпы осуществляется перемешиванием пульпо-воздушной смеси при регулируемом количестве засасываемого воздуха; выделение минерализованных воздушных пузырьков протекает в условиях

восходящих потоков пульпы;

2.Аэратор-эжектор должен обеспечивать высокую регулируемую степень аэрации пульпы по количеству засасываемого воздуха, тонкую дисперсность воздушных пузырьков и резкий перепад давления в пульпе для интенсификации процесса минерализации воздушных пузырьков;

3.Во флотационной камере должна отсутствовать внутрикамерная циркуляция потоков пульпы, а пульпо-воздушная смесь перемещаться снизу вверх в направлении всплывания воздушных пузырьков; разгрузка продуктов сепарации – прямоточная.

Принципиальная схема аэратора-эжектора изображена на рис. 2. Аэратор состоит из переходного патрубка 1, насадки 2 (типы насадок аэратора-эжектора представлены на рис. 3.) с внутренним вставным конусом 3, диффузора 4 и воздухозаборных патрубков 5, которые снабжены задвижками для регулирования количества засасываемого аэратором воздуха.

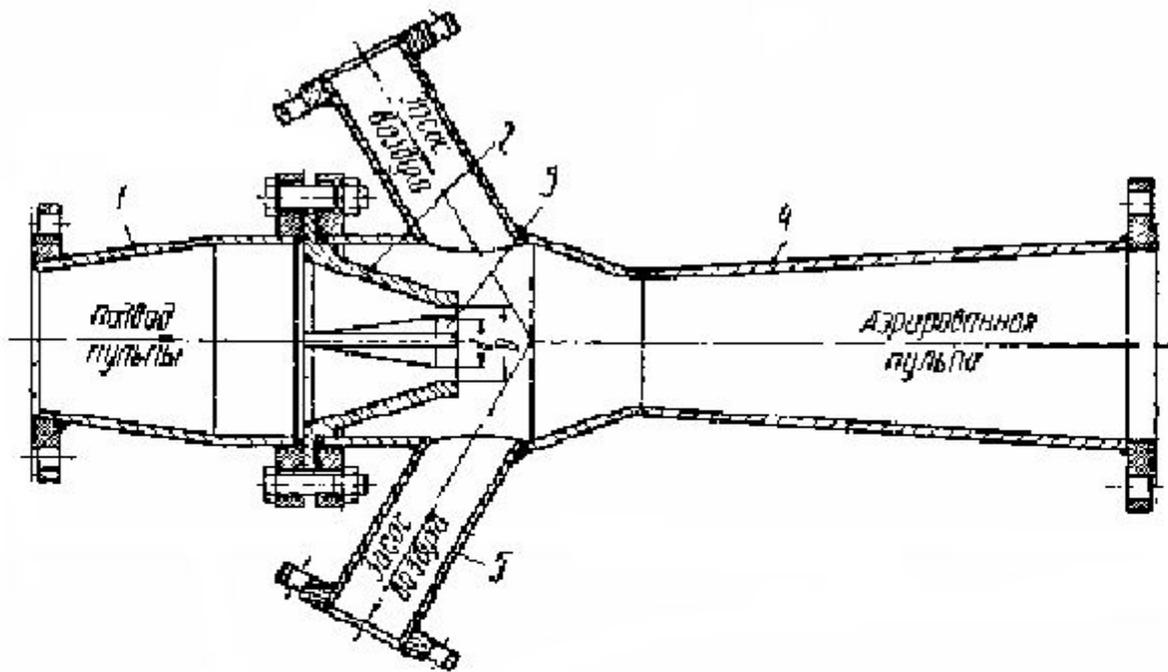


Рис. 2. Принципиальная схема аэратора-эжектора

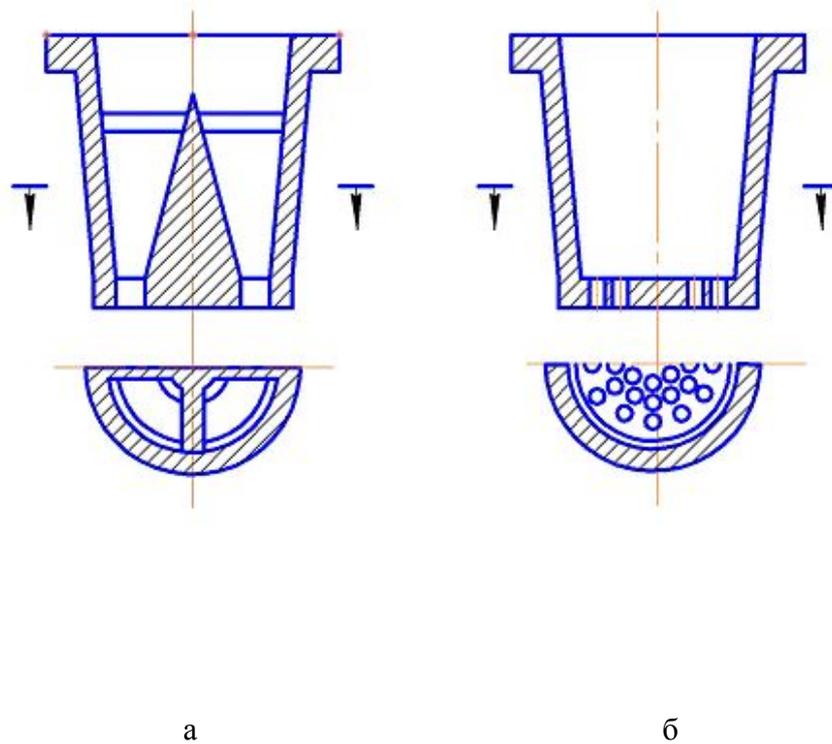


Рис. 3. Типы насадок аэратора-эжектора:
а – коническая; б – пластинчатая

При разработке конструкции безреагентного флотосепаратора учитывались как специфические особенности флотации, так и те принципы, которым должны удовлетворять флотационные машины [1–3]. Его испытания и технологические исследования безреагентной флотосепарации бурогоугольного шлама позволили сделать следующие выводы:

1. Высокая степень аэрации пульпы в аэраторе-эжекторе и применение флотационной камеры специальной конструкции способствовало увеличению скорости протекания флотации по сравнению с машинами других типов. Время флотосепарации бурогоугольного шлама сокращено, качественно-количественные показатели и эффективность разделения выше по сравнению с флотацией в машине механического типа;

2. Степень аэрации пульпы характеризуется коэффициентом подмешивания (отношение количества засасываемого аэратором воздуха к количеству проходящей через него пульпы), величина которого прямо пропорциональна давлению в камере смешения аэратора и обратно пропорциональна диаметру струи жидкости и давлению пульпо-воздушной смеси на выходе из диффузора аэратора;

3. Значительная скорость (17–20 м/с), с которой пульпа проходит через аэратор-эжектор, обуславливает тонкое диспергирование засасываемого

воздуха и его равномерное распределение в объеме движущейся пульпы;

4. Резкий перепад давления в насадке аэратора-эжектора и в камере смешивания интенсифицирует выделение из жидкости газов, способствующих минерализации воздушных пузырьков;

5. Конструкция флотационной камеры сепаратора позволила устранить внутрикамерные циркуляционные потоки; при этом камера загружается по всему нижнему поперечному сечению, а разгружается – по ее верхнему периметру;

6. При переработке буроугольного шлама в безреагентном флотосепараторе удельная производительность достигает 2,5 т/(ч·м³) при удельном расходе электроэнергии 3 кВт·ч/т, в то время как при флотации угольных шламов во флотационных машинах механического типа – 1,15–1,20 т/(ч·м³) и 4 кВт·ч/т соответственно.

Фракционный анализ всплывшей фракции (табл. 1) буроугольного шлама проводили по следующей методике. Пробу фракции помещали в воду при t=100 °С, перемешивали, охлаждали, декантировали воду, с которой удалялись и битумные компоненты. Затем пробу высушивали при комнатной температуре и фракционировали в растворе хлористого натрия с содержанием соли 1,5; 2,8; 5,0; 9,0 и 15%. Фракционный анализ потонувшей фракции (табл. 2) проводили в растворе хлористого цинка по стандартной методике.

Таблица 1

Плотность фракций, кг/м ³	Выход γ, %	Зольность A ^d , %	γ _i A _i ^d	Суммарные показатели, %			
				легкая фракция		тяжелая фракция	
				γ	A ^d	γ	A ^d
<1009	5,18	11,94	61,85	5,18	11,94	100,0	12,67
1009–1017	17,61	12,56	221,18	22,79	12,42	94,82	12,71
1017–1035	72,75	12,68	922,47	95,54	12,62	77,21	12,75
1035–1070	2,42	12,73	30,81	97,96	12,62	4,46	13,85
1070–1109	1,17	14,85	17,37	99,13	12,65	2,04	15,17
>1109	0,87	15,61	13,58	100,0	12,67	0,87	15,61
Итого	100,0	12,67	1267,26	–	–	–	–

Таблица 2

Плотность фракций, кг/м ³	Выход γ, %	Зольность A ^d , %	γ _i A _i ^d	Суммарные показатели, %			
				легкая фракция		тяжелая фракция	
				γ	A ^d	γ	A ^d
<1100	0,27	12,61	3,40	0,27	12,61	100,0	22,18
1100–1200	1,03	14,35	14,78	1,30	13,98	99,73	22,21
1200–1300	15,05	16,52	248,63	16,35	16,32	98,70	22,29
1300–1400	72,53	23,07	1673,27	88,88	21,83	83,65	23,33
1400–1500	9,58	24,45	234,23	98,46	22,08	11,12	25,03
1500–1600	1,04	24,83	25,82	99,50	22,11	1,54	28,62

>1600	0,50	36,52	18,26	100,0	22,18	0,50	36,52
Итого	100,0	22,18	2218,39	–	–	–	–

Суммарные характеристики крупности всплывшей и потонувшей фракций буроугольного шлама приведены на рис. 4.

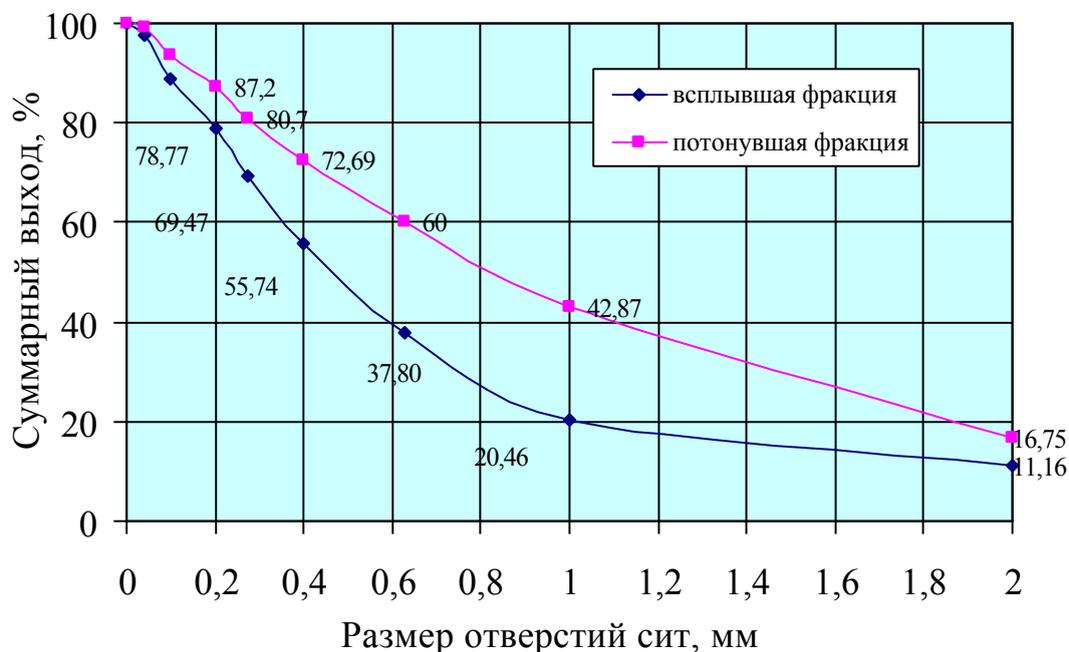


Рис. 4. Суммарная характеристика крупности буроугольного шлама

В настоящее время общепринятых обобщенных критериев оценки разделительной способности зернистых сред, по мнению авторов [4], не существует. Однако существуют понятия, характеризующие ту или иную разделительную способность этих сред применительно к конкретной технологической операции.

Для оценки разделительной способности зернистых сред различных минералов используют их физические, химические и другие свойства. Так на флотируемость угольных шламов оказывают наибольшее влияние их природные свойства: стадии метаморфизма углей, их петрографический и гранулометрический составы, характер вкраплений, состав минеральных примесей и включений, а также окисленность поверхности углей и ее гидрофобность [5].

В качестве критерия оценки разделительной способности безреагентной флотосепарации буроугольного шлама может быть принят комплексный показатель (K), учитывающий влияние на процесс: гидрофобности поверхности зерен (K_1), фракционного состава всплывшей и потонувшей фракции (K_2) и

гранулометрического состава всплывшей и потонувшей фракций (K_3)

$$K \geq K_1 K_2 K_3 \geq 1,25,$$

где

$$K_1 = \Theta_g / \Theta = 122 / 90 = 1,35;$$

$$K_2 = (\rho_{св} / \rho_c) (\rho_{сн} / \rho_c) = (1024,94 / 1025) (1345,12 / 1025) = 1,31;$$

$$K_3 = d_{св} / d_{сн} = 0,743 / 1,049 = 0,71;$$

Θ_g – краевой угол смачивания всплывшей фракции град. [6]; Θ – краевой угол смачивания, соответствующий точке инверсии ($\cos \Theta = 0$, $\Theta = 90^\circ$) град; $\rho_{св} =$

$\sum_{i=1}^n \rho_{i(1)} \gamma_{i(1)}$, $\rho_{сн} = \sum_{i=1}^n \rho_{i(2)} \gamma_{i(2)}$ – среднелинейная (средневзвешенная) плотность всплывшей и потонувшей фракций; $\rho_c = 1025$ кг/м³ – плотность суспензии (шламовой воды) при плотности шлама 1350 кг/м³ и концентрации твердого 100 кг/м³ [7]; $\rho_{i(1)}$, $\rho_{i(2)}$ – среднее значение узкой плотности всплывшей и потонувшей фракций, кг/м³; $\gamma_{i(1)}$, $\gamma_{i(2)}$ – содержание (выход) всплывшей и потонувшей фракций узких плотностей, доли ед.; $d_{св}$, $d_{сн}$ – среднелинейная (средневзвешенная) крупность зерен всплывшей и потонувшей фракций, мм;

$d_{св} = \sum_{i=1}^n d_i \gamma_{i(1)} = 0,743$ мм; $d_{сн} = \sum_{i=1}^n d_i \gamma_{i(2)} = 1,049$ мм (по данным гранулометрического состава); d_i – средняя крупность классов крупности всплывшей и потонувшей фракций, мм; $\gamma_{i(1)}$, $\gamma_{i(2)}$ – содержание классов крупности во всплывшей и потонувшей фракциях.

При $K \geq 1,25$ – безреагентная флотосепарация эффективна; при $K < 1,25$ – не эффективна.

Качественно-количественные показатели флотосепарации с точки зрения кинетических закономерностей практически определяются коэффициентом скорости флотосепарации (K_i) минерала, коэффициентом селективности разделения (c), продолжительностью флотосепарации (t). Коэффициент K_i в общем случае зависит от гидроаэрационных параметров флотосепаратора, свойств бурогоугольного шлама.

Если рассматривать закономерность изменения процесса в определенном диапазоне времени (от t_1 до t_2), то для данного диапазона условия флотосепарации с достаточной точностью можно принять постоянными (рис. 5), хотя общая кинетическая характеристика процесса от $t=0$ до $t \rightarrow \infty$ может изменяться со временем.

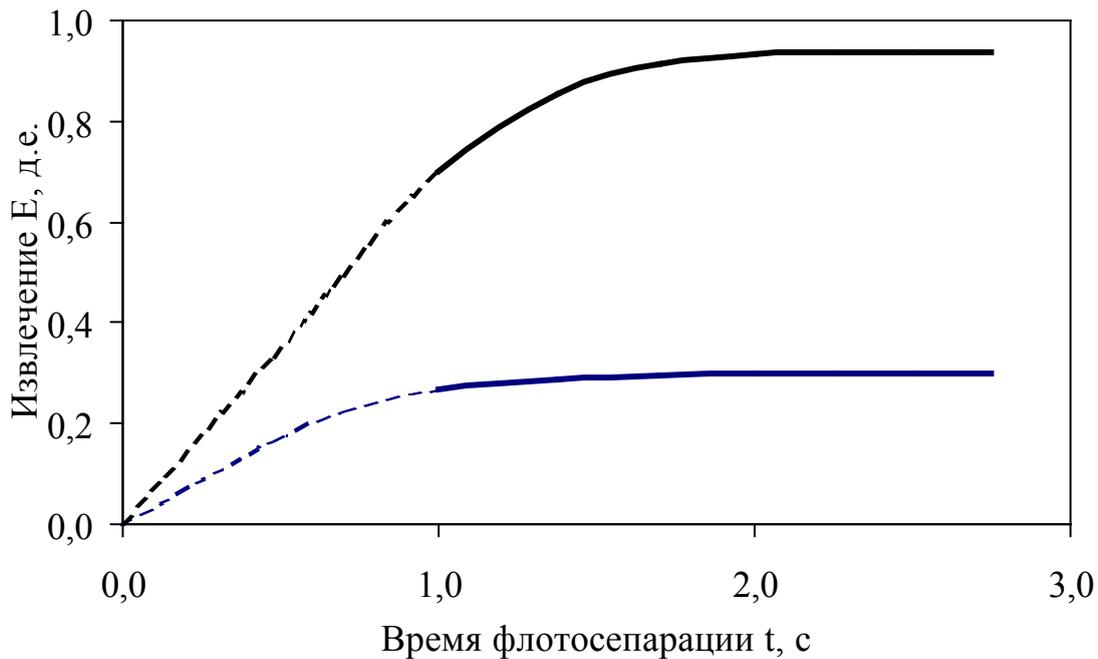


Рис. 5. Кинетика безреагентной флотосепарации

Изменение E_i в диапазоне времени от t_1 до t_2 можно с достаточной точностью аппроксимировать участком экспоненциальной кривой с $K_i = \text{const}$ и определить значение $K_i = \ln(1 - E_i)/t$. Тогда изменение E_i в указанном диапазоне времени можно прогнозировать с достаточной точностью по выражению

$$E_e = 1 - e^{-k_e t}; \quad E_n = 1 - e^{-k_n t},$$

где E_e , E_n – частное извлечение всплывшей и потонувшей фракций во всплывший продукт, доли ед.; k_e , k_n – коэффициент скорости флотосепарации всплывшей и потонувшей фракций; t – время флотосепарации, с.

Состав и качество всплывшего продукта к данному моменту времени определяется извлечением в него как всплывшей так и части потонувшей фракций бурогоугольного шлама.

$$E_e = 1 - e^{-k_e t} = 1 - e^{-1,329 \cdot 2} = 1 - 0,07 = 0,93,$$

$$E_n = 1 - e^{-k_n t} = 1 - e^{-0,164 \cdot 2} = 1 - 0,72 = 0,28.$$

$\eta = E_e - E_n = 0,93 - 0,28 = 0,65$ доли ед.

Коэффициент селективности (c) флотосепарации буроугольного шлама (отношение показателей скорости флотосепарации во всплывший продукт всплывшей и потонувшей фракции) составляет

$$c = \ln[1/(1 - E_e)] / \ln[1/(1 - E_n)] = k_e t / (k_n t) = k_e / k_n = 8,1$$

Раздельное кондиционирование исходной пульпы путем гидроциклонирования и обработки реагентами песков гидроциклона с последующим их смешиванием с его сливом [8, 9] позволяет значительно сократить расход реагентов. Поэтому техническая возможность компоновки раздельного кондиционирования и флотосепарации – это перспективное направление развития технологии переработки угольных шламов и других зернистых материалов.

Таким образом, простота изготовления и надежность в эксплуатации, высокие технико-экономические показатели работы будут способствовать применению флотосепаратора не только для переработки буроугольного шлама.

Список литературы

1. **Бедрань Н.Г., Жендринский А.П.** Эжекторная флотационная машина. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 76 с.
2. **Бедрань Н.Г.** Обогащение углей: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 206 с.
3. **Бедрань Н.Г.** Флотационные машины для обогащения углей – М.: Недра, 1968. – 210 с.
4. Энергетическая интерпретация гравитационных разделительных процессов зернистых сред при обогащении полезных ископаемых / **А.Д. Полулях, В.И. Чмилев, О.В. Ищенко, Д.А. Полулях.** – Луганск: Изд-во СНУ им. Даля, 2006. – 144с.
5. Справочник по обогащению углей / Под ред. **И.С. Благова, А.М. Коткина, Л.С. Зарубина** – М.: Недра, 1984. – 614 с.
6. **Кривошеков В.И., Мацюк И.Н.** Определение разделительного признака буроугольного шлама брикетной фабрики // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 1999. – Вип. 3 (44). – С. 61–66.
7. Наладка и эксплуатация технологических комплексов углеобогажительных фабрик / **В.И. Хайдакин, В.С. Бутовецкий, М.Н. Ковшарь и др.** – М.: Недра, 1986. – 223с.
8. А.с. 935133 СССР, МКИ ВОЗД 1/14. Устройство для подготовки пульпы к процессу флотации / **Я.С. Гольдберг, В.И. Кривошеков, Л.М. Зинич.** – Опубл. 15.06.82 // Бюл. Открытия. Изобр. № 2, 1982.
9. **Кривошеков В.И., Мацюк И.Н.** Комбинированный способ кондиционирования пульпы // Теория и практика процессов измельчения, смешивания и уплотнения: Материалы IX Междунар. конф. – Одесса: ОГМА, 2002. – С.62–66.

© Кривошеков В.И., Мацюк И.Н., 2006