

УДК 622.794

С.Ф. АБРАМЮК

(Україна, Луганськ, ГП ГПКІОО "Гіпромашуглеобогачення")

ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ ШНЕКО-ТОЛКАЮЩЕЙ ЦЕНТРИФУГИ И ПУТИ ЕЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ В УГЛЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В настоящее время обогащению подвергаются практически все коксующиеся угли и значительное количество энергетических углей. Существенные затруднения при развитии обогащения создаются из-за нарастающего содержания в обогащаемом угле мелких классов. Поэтому при совершенствовании водно-шламовых схем резко возросла роль флотации как способа извлечения шлама из оборотной воды. Обогащение флотацией охватывает на сегодня весь ряд углей: от длиннопламенных до антрацитов.

Цель данной работы – продолжение теоретических и практических исследований, начатых в 2004 году автором по обезвоживанию тонких шламов, флотоконцентрата и кека вакуум-фильтров с помощью экспериментальной модели центрифуги, использующей новый принцип передвижения материала.

Процессы обезвоживания – одна из самых актуальных тем исследователей и инженеров разных стран. Механическое обезвоживание тонких наиболее труднофильтруемых осадков претерпевает сейчас второе рождение, связанное с тем, что механическое действие на такого рода материалы – есть более дешевый способ удаления влаги и обеспечение транспортабельности осадков. Следует также отметить, что с повышением требований со стороны экологических служб ограничено использование и без того такого дорогостоящего процесса, как термическое обезвоживание, сопровождающегося, кроме всего выбросом в атмосферу вредных газов и пыли.

Для доведения продуктов флотации до необходимой и достаточной влажности все время чаще применяется фильтрование под избыточным давлением. В связи с этим поиск способов совершенствования наиболее дешевых механических методов снижения влаги в осадках является актуальной задачей.

Процесс фильтрования – прохождение жидкости через пористое пространство осадка. При этом следует отметить, что протекают не только гидродинамические процессы, но и взаимодействие капиллярных сил. Помимо этого исследователями установлено, что вода в дисперсных системах приобретает новые свойства, отличительная от свойств воды в объеме [3]. Исходя из изложенного, исследования отечественных и зарубежных авторов имеют целью повышение эффективности именно механического обезвоживания. Работы таких известных авторов, как: Л.Т. Вертола, Б.В. Дерягина и его сотрудников, М.И. Бейлина, М.А. Борца, Ю.П. Бочкова, В.С. Каминского, Г.Л. Майдукова, П.И. Пилова и многих других посвящены исследованию и интенсификации процессов обезвоживания. Благодаря этим исследованиям дальнейшее развитие получила современная теория

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

фільтрації, явилися основою для визначення параметрів, впливаючих на швидкість переміщення осаду і видалення з нього вологи, показали вплив особливостей будови осадків і їх пористості. При обезвоживанні осадків, утворених тонкодисперсними частинками, маючими високорозвинуту поверхню (удільна поверхня твердої фази), виникають труднощі, які ускладнюються особливими властивостями води, пов'язаною з твердою поверхнею, дією капілярних і молекулярних сил, наявністю розгалужених і тупикових капілярів.

Відомо, що видалення рідини залежить від перепаду тисків по обидві сторони фільтрувальної поверхні, від структури і опору матеріалу, капілярного тиску і інших параметрів.

Для тонких важкофільтруваних осадків при механічному обезвоживанні частіше використовується фільтрування під дією перепаду тисків. При такому способі механічного обезвоживання зі сторони подачі осаду діє надмірний тиск, створюваний обертанням ротора і шнека, а зі сторони фільтруючої поверхні – атмосферне.

На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень слід з повною впевненістю зробити висновок, що оцінку ефективності центробіжного обезвоживання угольної мелочи правильніше виробляти за ступенем наближення вологості осаду до теоретично можливого межі механічного обезвоживання, який визначається за допомогою ММВ. ММВ об'єднує як внутрішню вологу, так і утримувану капілярними силами, переважаючими найбільш потужні сили, які можуть бути створені при сучасному рівні техніки обезвоживання. З точки зору механічного обезвоживання ММВ є показником, що характеризує вищий (теоретичний) межі вмісту вологи, яку неможливо видалити без термічної сушки.

Проведені численні лабораторні досліди з обезвоживання тонкого угольного шламу на центрифугі з високим фактором розділення (приблизно 2500) виявили, що в середньому кінцева вологість осаду перевищує величину ММВ в 1,7 рази. Поправочний коефіцієнт вводиться тільки для надійно утримуючих капілярну вологу найтонших класів вугля (менше 0,074 мм). Для більш крупних частинок, як видно з досвідів, дійсним межі механічного обезвоживання може служити величина ММВ без поправок. Значення ММВ, взяті з урахуванням поправочного коефіцієнта для тонкодисперсних частинок, можна назвати приведеною максимальною молекулярною вологістю $W_{\text{МОЛ}}^*$. Тоді, визначивши в досліджуваній пробі обезвоженого осаду вихід класів крупніше (γ^+ %) і мельче (γ^- %) 74 мкм, а також значення ММВ для них ($W_{\text{ММВ}}^+$ і $W_{\text{ММВ}}^-$), отримаємо приведену максимальну вологість

Для Донецьких вугілля марок Г, Ж, К, ОС крупністю менше 0,1 – 0,2 мм значення невіддаленої вологи ММВ: дрібного концентрату – 3,4...4,3%; флотоконцентрату –

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

11,5...14,5%; шлама – 8,1...9,2%.

Основное оборудование для обезвоживания флотоконцентратов и тонких шламов – вакуум-фильтры и осадительные центрифуги. Применение последних в целом ряде случаев более экономично, однако центрифуги, как правило, выдают осадок большей влажности.

Развитие отечественного и зарубежного центрифугостроения при создании осадительных центрифуг до последнего времени шло в направлении разработки конструкций машин, обеспечивающих повышение извлечения обезвоживаемого продукта в осадок, так как в этом случае достигался высокий экономический эффект. В результате проведенных работ были созданы высокоэффективные осветляющие осадительные центрифуги (ЦМОВ-1, НОГШ-1100, НОГШ-1120С, ОГШ-63, ЦоШнГ-0,8, ОГШ-459Л, ОГШ-759Л и др.), которые, однако, в значительной степени утратили функцию обезвоживающего оборудования. Это явилось естественным следствием повышения осветляющего действия центрифуг, при котором в осадок извлекается все большее количество наиболее тонких влагоемких частиц, сбрасывающихся с фугатом в менее совершенных машинах.

Плохое обезвоживание тонкодисперсных продуктов углеобогащения в шнековых осадительных центрифугах объясняется особенностями самого процесса обезвоживания, протекающего по законам консолидации. Влажность осадка в этом случае полностью определяется его пористостью. Обеспечить же дополнительное удаление влаги за счет ее дренажа в валике осадка, находящегося в шнековом канале, под действием силы, направленной по касательной к виткам шнека, не представляется возможным, поскольку величина этой силы составляет всего 5...7% от полной величины центробежной силы, развиваемой центрифугой.

Применение прерывистого (разрезного) шнека в центрифугах типа НОГШ-1350 позволило несколько снизить влажность осадка (на 2...4%) за счет частичного дренажа жидкости по образующей ротора. Однако проблема более глубокого центрифугального обезвоживания тонкодисперсных продуктов углеобогащения все же не была решена.

Использовать в полной мере центробежную силу для удаления жидкой фазы из влагонасыщенного осадка возможно тогда, если направление действия центробежной силы совпадает с направлением, по которому должна перемещаться отжимаемая жидкость, т.е. если обезвоживание осуществляется в фильтрующем режиме.

Продукты фильтрования на углеобогатительных фабриках преимущественно представлены флотационным концентратом и тонким шламом. Измельчение, истирание и размокание отдельных компонентов углей в процессе обогащения, контакт угольных частиц с реагентами при флотации изменяют их удельную поверхность, некоторые физико-химические и другие свойства, что сказывается на процессе обезвоживания продуктов.

Существенно влияют на обезвоживание и свойства жидкой фазы. Так вязкость воды, например, обуславливает не только величину энергии ее связи с поверхностью минералов, но также ряд электрокинетических явлений. Обратная вода углеобогатительных фабрик достаточно минерализована, содержит флотационные реагенты и флокулянты, ряд катионов и анионов, что значительно влияет на ее

свойства.

Тщательное изучение физико-химических свойств жидкой и твердой фаз обезвоживаемой суспензии, а также их взаимодействия – одно из неперемных условий успешного исследования кинетики процесса и анализа конечных результатов обезвоживания.

Значительно большее значение с точки зрения обезвоживаемости полидисперсной смеси продуктов обогащения углей имеет пористость осадка (его структура). Обезвоженный осадок представляет собой капиллярно-пористое тело, в котором как сообщающиеся между собой, так и изолированные друг от друга поры. Иногда сообщающиеся между собой поры называют эффективным поровым пространством. Сами же пустоты подразделяют на макро- и микрокапилляры, или каверны.

Полидисперсные среды, подобные углю и продуктам его обогащения, состоят из частиц самой разнообразной формы. Пористость такой смеси определяется соотношением количества в ней частиц различной крупности, их распределением в занимаемом объеме, формой, шероховатостью, влажностью. По мере уменьшения крупности случайно уложенных угольных частиц неправильной формы пористость образуемого ими осадка возрастает, что вызвано увеличением удельной поверхности материала, числа точек контакта частиц и объемом адсорбированного на их поверхности воздуха. Удельная поверхность пористой среды полно характеризует структуру материала. Выполненные исследования позволили установить, что пористость воздушно-сухого флотоконцентрата, равная в разрыхленном состоянии 0,4...0,5, изменяется при сжатии до 100 кН/м² на 2...3%, а при сжатии до 1 МН/м² – на 6...8%. Давление 4 МН/м² уменьшает пористость до 0,28...0,36, т.е. примерно на 30%.

Величина нагрузки, уплотняющей осадок, характеризуется показателем, представляющим собой произведение разности плотностей твердой и жидкой фаз на фактор разделения, т.е. $(\rho_1 - \rho_2) \Phi_p = \rho_{эф} \Phi_p$.

Были проведены опытные по определению зависимости сжимаемости угольных осадков от этого и других показателей компрессионные испытания. Для классифицированной угольной мелочи класса 0–3 мм относительное сжатие осадка с уменьшением пористости имеет место при росте показателя $\rho_{эф} \Phi_p$ от 0 до 70. Далее этот процесс замедляется, а при $\rho_{эф} \Phi_p$, равном более 120–140, добиться дальнейшего заметного уменьшения пористости осадка угольной мелочи (а, следовательно, и ее влажности) за счет дополнительного повышения интенсивности центробежного поля практически на представляется возможным. Таким образом, при обработке суспензий флотационного концентрата в воде, когда $\rho_{эф}$ составляет около 0,3, с точки зрения обезвоживания осадка достаточно наличия фактора разделения в центрифуге, равного 200. Для центрифуг, обезвоживающих продукты обогащения, где имеется значительное количество частиц, плотность которых мало отличается в ту или другую сторону, целесообразно применять более быстроходные машины, чтобы добиться эффективного обезвоживания осадка.

В общем случае сжимаемых осадков величина коэффициента проницаемости изменяется в зависимости от радиуса данного коаксиального слоя осадка из-за

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

неодинакового тиску всередині осаду і, відповідно, неоднаковою його пористістю. Тому в певному наближенні можна ввести рівняння падіння тиску при проходженні рідини через фільтрувальне середовище

$$p_f = p_c + p_v, \quad (1)$$

де p_c – тиск, що розвивається в рідині, що знаходиться в обертовому роторі; p_v – приріст гідролічного тиску. Якщо позначити лінійну швидкість потоку

через $u = \frac{V}{2\pi r L}$, коли він буде перетинати внутрішню і зовнішню поверхні осаду, і в зв'язі з цим приріст гідролічного тиску

$$p_v = \frac{\rho_f u^2}{2}. \quad (2)$$

Тому необхідно розглядати шар осаду, який має нескінченно малу товщину dr , з постійною проникністю k_c – коефіцієнт проникності даної фільтрувальної середовища, м².

Для такого шару рівняння (1) і (2) приймають вигляд

$$dp_f = dp_c + dp_v; \quad (3)$$

$$dp_v = \rho_f u du. \quad (4)$$

Ураховуючи, що лінійна швидкість потоку, що проходить поверхню коаксіального шару осаду радіуса r ,

$$u = \frac{V}{2\pi r L}, \quad (5)$$

отримуємо

$$du = -\frac{V}{2\pi L} \frac{dr}{r^2}. \quad (6)$$

Після підстановки в рівняння (4) значень u і du з рівнянь (5) і (6) знаходимо

$$dp_v = -\rho_f \left(\frac{V}{2\pi L} \right)^2 \frac{dr}{r^3}. \quad (7)$$

Підставивши в рівняння (3) значення dp_f , dp_s , і dp_v , отримаємо

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

$$\frac{V\mu}{2\pi k_c L} \frac{dr}{r} = \rho_f \omega^2 r dr - \rho_f \left(\frac{V}{2\pi L} \right) \frac{dr}{r^3} \quad \text{или} \quad \frac{V}{2\pi L} \int_{r_c}^R \frac{1}{k_c} \frac{dr}{r} = \rho_f \omega^2 \int_{r_0}^R r dr - \rho_f \left(\frac{V}{2\pi L} \right)^2 \int_{r_0}^R \frac{dr}{r^3}$$

Это выражение представляет собой основное уравнение первого периода центробежной фильтрации для общего случая.

Чтобы проинтегрировать последнее уравнение, необходимо знать зависимость коэффициента проницаемости осадка от радиуса. Сжимающее давление в осадке, обуславливающее изменение его проницаемости по слоям, складывается из двух компонентов:

$$dp_s = dp_w^c + dp_f, \quad (8)$$

где dp_w^c – давление в скелете осадка, возникающее в результате действия на него поля центробежных сил инерции; dp_f – давление в скелете осадка, возникающее в результате сопротивления трения осадка текущей через него жидкости.

Величину dp_w^c можно найти из уравнения

$$dp_w^c = \Delta(1-\varepsilon) \omega^2 r dr, \quad (9)$$

где Δ – разность плотностей твердой и жидкой фаз; ε – пористость осадка. После подставления в уравнение (8) значение dp_f из уравнения (3) находим

$$dp_s = dp_w^c + dp_c + dp_v.$$

Подставив в последнее равенство значения dp_s , dp_c и dp_v из уравнений (9) и (7), получим

$$\int_0^{p_s} dp_s = \Delta(1-\varepsilon) \omega^2 \int_{r_c}^R r dr + \rho_f \omega^2 \int_{r_0}^R r dr - \rho \left(\frac{V}{2\pi L} \right)^2 \int_{r_c}^R \frac{dr}{r^3}$$

Принимая величину пористости ε постоянной по толщине осадка и равной среднему значению ее ε_{cp} , после интегрирования получаем величину полного давления, сжимающего осадок

$$p_s = \frac{\Delta(1-\varepsilon_{cp}) \omega^2 (R^2 - r_c^2)}{2} + \rho_f \omega^2 \frac{(R^2 - r_0^2)}{2} - \frac{\rho_f V^2}{80 L^2} \left(\frac{1}{r_c^2} - \frac{1}{R^2} \right) \text{ Н/м}^3 \quad (10)$$

Уравнение (10) характеризует специфику первого периода центробежной фильтрации в полном объеме. Из этого уравнения следует, что осадок в роторе центрифуги должен быть сжат больше, чем в случае обычной фильтрации, через

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

плоскую перегородку при постоянном перепаде давления, равном тому же значению p_f . Добавочное сжатие осадка при центрифугировании характеризуется первым и третьим членами уравнения (10). Первый член выражает влияние массовых сил на скелет осадка, находящегося в поле центробежных сил, а третий влияние переменной линейной скорости жидкости, радиально текущей через осадок.

Влияние специфических факторов центробежной фильтрации уменьшается с приближением к нулю разности плотностей твердой и жидкой фаз и уменьшением толщины слоя осадка к радиусу ротора. В этом частном случае может оказаться возможным пренебречь первым и третьим членами уравнения (10) и оно примет вид

$$p_s = \rho_f \omega^2 \frac{(R^2 - r_0^2)}{2} \quad \text{Н/м}^2$$
 Н/м², т.е. давление, сжимающее осадок, становится равным перепаду давления при центробежной фильтрации.

Для сжимаемых осадков средний коэффициент проницаемости зависит от давления центробежной фильтрации. С приближением можно принять

$$\frac{k_c}{\mu} = C \left[\frac{\omega^2}{2} \rho_f (R^2 - r_0^2) \right]^2$$

Анализ вышеизложенного приводит к заключению, что при постоянной угловой скорости вращения ротора центрифуги в рассматриваемый период процесса, скорость отделения жидкой фазы непрерывно падает; однако при возрастающей скорости или фактора разделения скорость центрифугирования сначала возрастает до определенного предела, а затем так же постепенно убывает. Изложенные соображения в значительной степени объясняют наличие максимумов кривых скорости центрифугирования.

Зная интенсивность уплотнения различных угольных продуктов [1], можно достаточно полно судить о протекании процесса их обезвоживания. Сопоставление исследованных данных позволяет сделать вывод: интенсивность и длительность процесса уплотнения зависят от вещественного и гранулометрического составов материала. Максимальная интенсивность уплотнения флотационного концентрата в 6...10 раз выше, чем хвостов флотации и илов.

Анализ влияния величины фактора разделения на интенсивность уплотнения осадка угольной мелочи показал, что при увеличении фактора разделения в 2,4 раза максимальная интенсивность уплотнения возросла всего в 1,5 раза. Таким образом, изменение фактора разделения не является эффективным способом управления процессом уплотнения осадков угольной мелочи.

Уменьшение толщины уплотняемого слоя ведет к резкому увеличению интенсивности уплотнения, однако это может быть связано и с падением производительности центрифуги. Поэтому следует выбрать такие параметры работы и геометрии шнека, которые бы обеспечили большую осевую скорость транспортирования материала и минимально возможную влажность осадка.

Пористая среда осадков и ее проницаемость, которая определяет скорость удаления влаги, математически описывалась в работах Е.И. Назимко [3].

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Проведенные автором исследования и моделирование позволяют заключить, что при изменении проницаемости по длине поры, которая имеет место в реальных процессах механического обезвоживания, в поре возникают переходные процессы и некоторое замедление удаления влаги. Для сокращения времени протекания переходных процессов и ускорения истечения жидкости через поры в тонких осадках необходимо применять динамическое воздействие на осадок, которое будет способствовать изменению структуры пор, их перегруппировке. Один из таких способов – наложение сдвиговых деформаций на осадок в определенные моменты времени.

К физическим свойствам материала относятся коэффициенты трения осадка о витки шнека и внутреннюю поверхность ротора.

Обезвоженный продукт, получаемый после центрифуг, от сыпучих отличается лишь тем, что его частицы связаны между собой поверхностными пленками влаги, вследствие чего он обладает известной прочностью, обусловленной силами сцепления. Особенностью такой массы является ее способность сопротивляться сдвигу за счет внутреннего трения и сцепления между частицами скелета осадка [8]. Поэтому полное сопротивление сдвигу составит сумму сил внутреннего трения и сцепления, действующих на поверхности сдвига.

В процессе обезвоживания имеет место постепенное уплотнение осадка, сопровождаемое изменением его пористости, что, в свою очередь, обуславливает уменьшение влажности осадка. Роль шнека в уплотнении осадка невелика. Шнек, по-видимому, вызывает в осадке деформацию сдвига.

Обозначая поверхность сдвига через S , а нормальное усилие, передаваемое на эту поверхность, через p , можно выразить сопротивление обезвоженного продукта сдвигу в виде двучлена

$$K = pf + cS, \quad (11)$$

где K – полное сопротивление сдвигу; pf – внутреннее трение, cS – сила сцепления (липкости).

Разделив уравнение (11) на (S) , получим

$$\tau = \sigma_n f + c, \quad (12)$$

где $\tau = \frac{K}{S}$ – сдвигающее напряжение; $\sigma_n = \frac{p}{S}$ – нормальное напряжение; c – равнодействующая всех видов удельных сил связности осадка или его "сцепление".

Сцепление представляет собой ту часть сопротивления сдвигу, которая обусловлена физическими свойствами обезвоживаемого осадка и не связана с наличием в осадке нормальных напряжений. Сцепление возникает вследствие капиллярного давления жидкости в осадке, которое прижимает друг к другу твердые частицы и таким образом создает механическую связь между ними. Благодаря этой связи частицы не могут свободно отделяться друг от друга.

Большое влияние на сцепление зерен материала оказывают и адсорбционные силы, возникающие внутри тончайших пленок, расположенных у поверхности

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

твердых частиц. При соприкосновении этих частиц происходит наложение полей напряжений. Известно, что в зоне такого контакта есть поверхность, называемая нейтральной, где силы притяжения молекул воды к соседним твердым частицам уравниваются. Пока взаимодействующие частицы отделены друг от друга поверхностью, сам контакт нельзя считать устойчивым.

В случае разрыва нейтральной поверхности и проникновения зерен осадка в зоны их адсорбционного притяжения контакт становится устойчивым и осадок приобретает новое качество связности.

Если принять, что $C = \sigma_0 \operatorname{tg} \varphi$, то уравнение (12) примет вид

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + \sigma_0 \operatorname{tg} \varphi = (\sigma_n + \sigma_0) \operatorname{tg} \varphi, \quad (13)$$

где σ_0 – липкость; $\operatorname{tg} \varphi$ – тангенс угла трения.

Разделив левую и правую части уравнения (13) на σ_n , получим

$$\operatorname{tg} \psi = \tau / \sigma_n = \operatorname{tg} \varphi (1 + \sigma_0 / \sigma_n). \quad (14)$$

С помощью уравнения (14) может быть определен так называемый коэффициент сдвига $\operatorname{tg} \psi$.

Если липкость обезвоженного материала сравнительно мала по сравнению с нормальным давлением, то соотношением σ_0 / σ_n можно пренебречь. В этом случае $\operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg} \varphi$. Для сравнимых величин σ_n и σ_0 при определении коэффициента трения необходимо учитывать липкость.

Исследованиями, проведенными автором, по обезвоживанию флотационного концентрата и шлама в фильтрующем режиме установлено [7]:

1. Оптимальные результаты получаются при подаче в фильтрующий ротор не пульпы, а предварительно сгущенного продукта (обезвоженного до влажности не более 45%). Это условие выполнено в новой конструкции шнеко-толкающей центрифуги. Загружаемый материал проходит последовательно две рабочие зоны (рис. 1). В сплошном коническом роторе под действием центробежной силы происходит осаждение твердых частиц и удаление основной части осветленной жидкости, которая содержит лишь незначительное количество твердого. Предварительно сгущенные твердые частицы в осадительном роторе транспортируются шнеком во вторую рабочую зону фильтрующего ротора. Здесь остаточная жидкость отжимается и проходит через фильтрующий подслои материала и щели сита, а твердые частицы, дополнительно обезвоживаясь, транспортируются специальным шнеком. Осадок на фильтрующем сите можно промывать с отдельным выводом промывной жидкости. Влажность осадка, получаемого после прохождения материала по такой схеме, вдвое ниже влажности после осадительной центрифуги.

2. С целью снижения влажности твердой фазы и уменьшения ее потерь с фильтратом разработана новая конструкция шнека фильтрующего ротора. В частности увеличен шаг и число заходов витков. Каждый виток шнека имеет уступ, расположенный в зоне загрузки материала в фильтрующий ротор, и пазы прямоугольного сечения, причем пазы соседних витков смещены один относительно

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

другого. Благодаря уступам на витках шнека в загрузке на внутренней поверхности ротора образуется фильтрующий подслоя, который уменьшает унос твердой фазы с фильтратом. При этом осадок транспортируется витками шнека до тех пор, пока не достигнет паза прямоугольного сечения. Попадая в этот паз, осадок делает остановку и находится в этом состоянии до тех пор, пока следующий виток не начнет его перемещать. Благодаря предлагаемой конструкции шнека центрифуга обеспечивает снижение влажности твердой фазы на 1...1,5% и уменьшение ее потерь с фильтратом на 20...50 г/л.

3. Быстрое передвижение осадка шнеком через зону обезвоживания приводит к повышенной влажности (малое время пребывания осадка в роторе). Поэтому тенденция к снижению относительной скорости вращения шнека вызвала необходимость увеличения передаточного отношения планетарного редуктора. Как известно, изменять передаточное отношение планетарного редуктора можно путем вращения центральной вал-шестерни, которая при обычной схеме работы редуктора неподвижна. В этом случае редуктор работает по дифференциальной схеме, т.е. суммирует два независимых одно от другого вращательных движения, сообщаемых корпусу и шестерне, и передает на ведомый вал шнека. Для вращения центральной вал-шестерни применен отдельный электродвигатель с клиноременной передачей и набором шкивов, позволяющий регулировать относительную скорость вращения шнека от 8 до 26 об/мин.

Промежуточные результаты обезвоживания флотационного концентрата с частично измененной конструкцией центрифуги, указанной выше.

Содержание класса менее 0,074 мм в питании колебалось между 16,9 и 63,7%; содержание твердого в питании – между 190 и 478 г/л. Соответственно влажность осадка составляла 25,42 и 13,25%; снижение зольности – на 1,5...5%, а извлечение твердого – 82 и 98%. Когда в питании большое содержание мелких частиц, целесообразна объединенная работа вакуум-фильтра и центрифуги, т.к. фильтрат центрифуги содержит некоторое количество малозольного флотоконцентрата. Результаты исследования работы центрифуги приведены в табл. 1.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

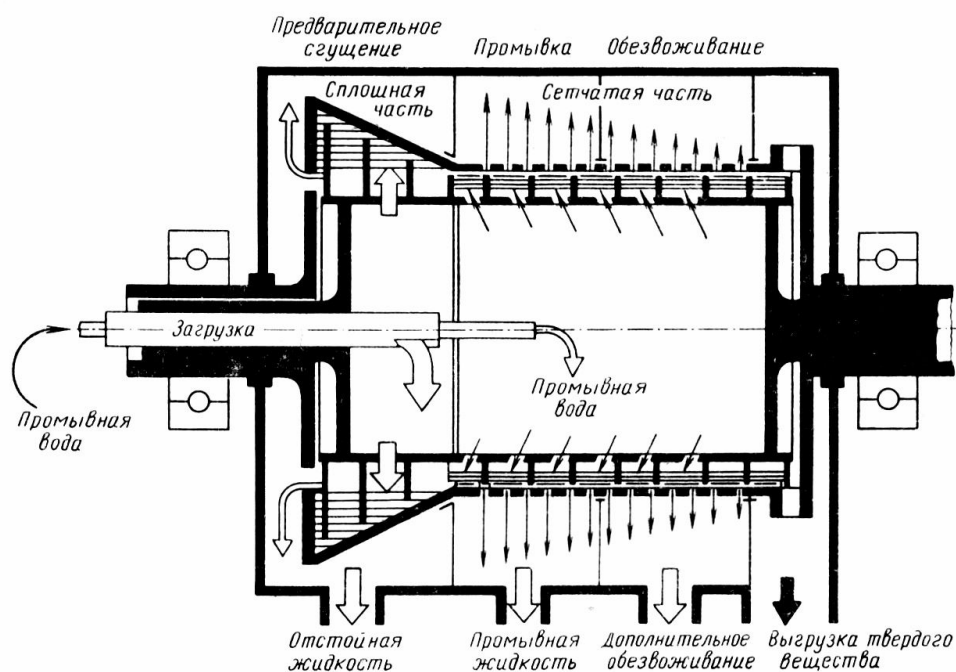


Рис. 1. Схема ротора експериментальної моделі центрифуги для обезвоживання пульп тонкого шламу і флотоконцентрата

Таблица 1

Питание			Осадок			Фугат (сбрасывается)		Фильтрат (рециркуляция)	
Содержание твердого, г/л	Содержание частиц -0,074 мм, %	Зольность, %	Извлечение твердого, %	Влажность, %	Зольность, %	Содержание твердого, г/л	Зольность, %	Содержание твердого, г/л	Зольность, %
255	43,89	6,89	94,0	18,21	5,64	19,9	21,06	280	7,62
347	37,07	7,32	93,2	18,29	6,16	34,9	21,04	289	9,15
190	63,38	12,49	81,0	23,42	7,90	44,0	32,71	309	9,69
255	53,03	9,87	85,8	21,95	6,90	48,0	29,2	330	9,17
355	30,24	6,45	97,3	14,5	4,85	14,1	45,66	272	8,05
360	29,29	8,35	99,1	15,44	7,31	4,8	49,29	243	10,16
446	17,96	6,70	97,7	13,38	6,19	17,1	38,89	233	11,32

Результативної оказалась подача малозольного шламу в качестве "очищающего материала" на сито цилиндрической части ротора центрифуги (рис. 2, табл. 2). Этим достигается двойное преимущество: во-первых, более крупный шлам улучшает процесс обезвоживания в центрифуге, а, во-вторых, снижается остаточная влажность мелкого концентрата, так как крупный шлам при такой технологической схеме уже не смешивается с мелким концентратом. Существенное снижение расходов на сушку угля, а в некоторых случаях – исключение сушки из производственного процесса.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

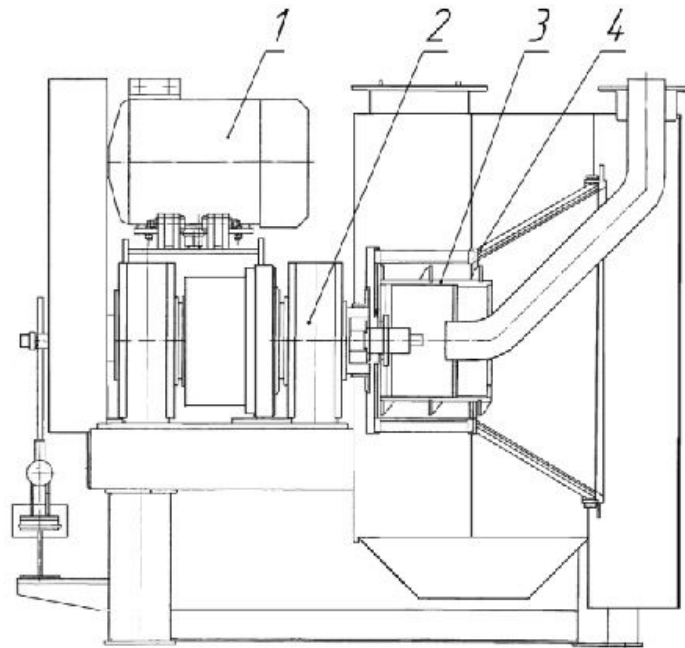


Рис. 2. Экспериментальная модель шнекотолкающей центрифуги с фильтрующим цилиндрико-коническим ротором:
1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – шнек; 4 – ротор

Таблица 2

Класс крупности, мм	Исходный продукт, %		Обезвоженный осадок, %			Фугат*, %	
	Выход	Зольность	Выход	Зольность	Влажность	Выход	Зольность
Более 0,5	21,3	3,29	18,2	3,12	–	–	–
0,5–0,315	20,9	5,03	21,5	4,08	–	–	–
0,315–0,125	20,3	7,45	21,40	7,4	–	–	–
0,125–0,063	7,1	8,34	9,1	7,5	–	1,8	8,75
Менее 0,063	30,4	18,14	29,8	7,52	–	98,2	37,75
Итого:	100	9,37	100	7,52	12,4	100	37,23

Выводы.

Применение центрифуги такого типа (табл. 2) позволяет: обеспечить более глубокое обезвоживание флотационных концентратов и шламов с 90%-ной заменой вакуум-фильтров; достичь хорошие результаты дополнительного обезвоживания, потому что здесь наличие сплошного ротора обеспечивает четкую классификацию тонких частиц.

Список литературы

1. Бейлин М.И. Теоретические основы процессов обезвоживания углей. – М.: Недра, 1969. – 240 с.
2. Вертола Л.Т. Расчетный метод определения скорости и толщины слоя осадка в роторах центрифуг со шнековой выгрузкой осадка. – М.: Наука, 1969. – 185 с.
3. Дерягин Б.В., Чураев И.В., Овчаренко Ф.Д. Вода в дисперсных системах. – М.: Химия,

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

1989. – 288 с.

4. Назимко Е.И., Гарковенко Е.Е. К вопросу об исследовании перемещения влаги в порах осадков при их переменной проницаемости // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип. 21(62). – С. 86–92.

5. Трошин Г.П. Обогащение угольного шлама на осадительных центрифугах // Уголь Украины: Научно-технический производственный и экономический журнал. – 2003. – № 5. – С. 44–52.

6. Шкоропад Д.Е. Центрифуги для химических производств. – М.: Машиностроение, 1975. – 245 с.

7. Кофанов А.С., Вертола Л.Т., Абрамюк С.Ф., Франчук В.П. Пути снижения влажности флотоконцентрата и тонкого шлама // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип. 23(64). – С. 142–146.

8. Орнатский Н.В. Механика грунтов. – М.: Издательство МГУ, 1963. – 120 с.

© Абрамюк С.Ф., 2006

*Надійшла до редколегії 28.05.2006 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н.*

УДК 622.7

А.Ф. МАЦАК, канд. техн. наук

(Украина, Харьков, НПП "Экомаш"),

А.Г. ТРОШИН, канд. техн. наук, **Н.Г. ПОНОМАРЕВА**

(Украина, Харьков, НТУ "ХПИ")

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОСАДИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРИФУГ НА ВЛАЖНОСТЬ ФЛОТОКОНЦЕНТРАТОВ УГЛЕЙ

Необходимость обезвоживания мелкодисперсных продуктов – отличительная черта современного углеобогащения. По своему происхождению эти продукты либо шламами текущей переработки, либо они извлекаются из шламонакопителей углеобогатительных фабрик или коксохимических заводов. По зольности их можно условно разделить на низкозольные (зольностью до 20% – в основном флотоконцентраты), среднезольные (зольностью 20...50% – это шламы текущей переработки без обогащения) и высокозольные с зольностью более 50% – отходы флотации и других процессов.

Эффективными аппаратами для обезвоживания указанных продуктов являются осадительные центрифуги со шнековой выгрузкой осадка. В этом случае обеспечиваются:

- высокая эффективность улавливания твердой фазы в осадок;
- устойчивая работа в условиях резких колебаний зольности и гранулометрического состава продукта, а также его количества;
- малые габариты и вес оборудования.
- работа в условиях низкого содержания зернистых частиц, т.к. твердая фаза

109

Збагачення корисних копалин, 2006. – Вип. 27(68)–28(69)

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

на 70% і більше представлена частинами мельче 74 мкм.

При обезвоживании среднезольных шламов зольністю 20...50% центрифуга забезпечує не тільки обезвоживание, но і обогачення за рахунок уноса високозольної твердої фази в фугат [1] з отриманням відходів зольністю до 80%.

В останнє время підвищився інтерес к центрифугальним установкам продуктивністю от 5 до 10 т/ч по обезвоженому осадку. В НПП "Екомаш" (г. Харків) для розділення суспензій з високоабразивної і мелкодисперсної твердої фазою розробані і випускаються центрифугальні установки ОГШ-469Л продуктивністю до 7 т/ч по обезвоженому осадку.

Важливішим показателем роботи служить вологість отриманого центрифугуванням осадка. Зниження вологості осадка дозволяє різко знизити затрати на термічну сушку. В ряду випадків, як, наприклад, на мініфабриках, здійснюють переробку шламонакопитель, застосування термічної сушки економічно нецелесообразно.

Цілью проведених досліджень – в експериментальному визначенні впливу конструктивних і технологічних параметрів осадительних центрифуг на вологість осадка при обезвоживании концентратів флотации.

Експериментальні дослідження проводились на обогатительной фабрике ООО "Дзержинськекоенергоресурс" Донецької обл. (рис. 1), де здійснюється переробка шламонакопителя шахти "Дзержинська".

Для обогачення зернистої частини шламу використовуються гравітаційні методи (гідроциклони, винтові сепаратори). Обезвоживание зернистого концентрата (конц. 1) проводиться на центрифуге фільтруючого типу.

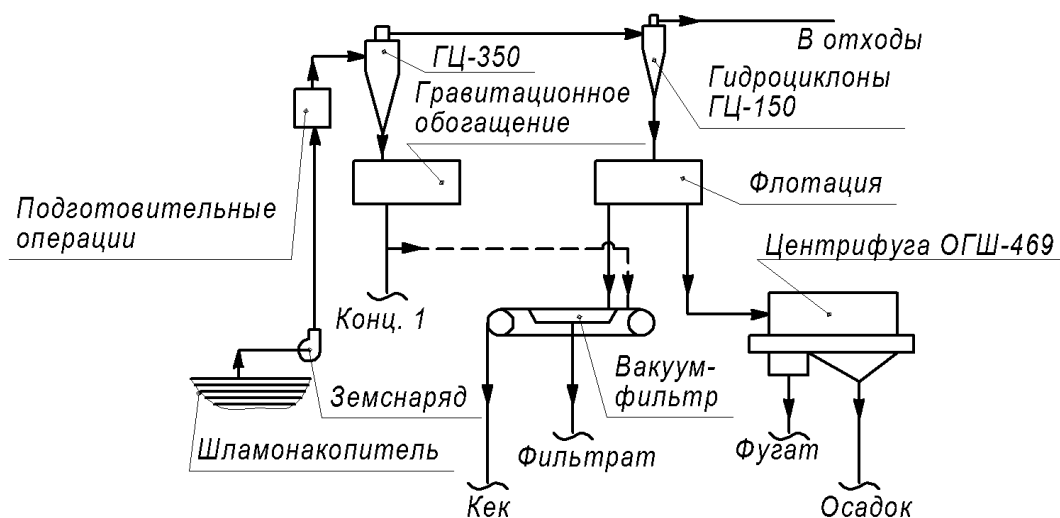


Рис. 1 – Схема цепи аппаратов обогатительной фабрики

Рис. 1. Схема цепи аппаратов обогатительной фабрики

Обогачення илових класов производится с помощью флотации, концентрат которой, в соответствии с проектом, подвергается обезвоживанию на ленточном вакуум-филт্রে. Поступающая из флотомашины суспензия имеет содержание твердого вещества 250...450 г/л, содержание частиц менее 74 мкм 40...70%,

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

зольність – 8...12%. Влагність кека ленточного вакуум-фільтра становить 20...27%. С метою забезпечення робітоспособності фільтра на його поверхні формують підслої із зернистих частинок, для чого направляється частина концентрата із гравітаційного відділення. Однак у випадку відсутності зернистих частинок в извлекаемом із шламонакопичувача продукті фільтруюча поверхність забивається і процес фільтрування сривається.

С початку 2003 г. на фабриці була встановлена центрифуга ОГШ-459 виробництва НПП "Екомаш", а в 2005 г. – центрифуга ОГШ-469, які мають наступні технологічні показники:

- продуктивність по обезвоженому осадку – 5...7 т/ч;
- владність осадка – 26...33%;
- унос твердої фази з фугатом – < 3%;
- зольність фугата при частоті обертання ротора –
1620 об/мин 50...60%;
2500 об/мин 75...82%.

Центрифуги забезпечують стабільне обезвожування флоконцентрата при значительних коливаннях зольності і гранулометричного складу вихідного продукту.

Конічна частина ротора центрифуги ОГШ-469 приблизно на 20% довше, ніж у центрифугі ОГШ-459, що означає пропорційне збільшення часу перебування осадка в зоні обезвожування.

В процесі випробувань на центрифугах змінювали частоту обертання ротора $n_{рот}$, частоту відносного обертання шнека $n_{шн}$, радіус слива фугата $R_{сл}$.

Владність угольних осадків, зокрема, обумовлюється вмістом частинок класу менше 0,074 мм (γ_{-}) [2], тому даний параметр визначався для всіх отриманих проб осадка з урахуванням в представленні результатів експериментальних досліджень.

Із рис. 2 видно, що владність осадка зменшується при збільшенні радіуса слива, що пояснюється збільшенням довжини зони обезвожування осадка в роторі центрифуги.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

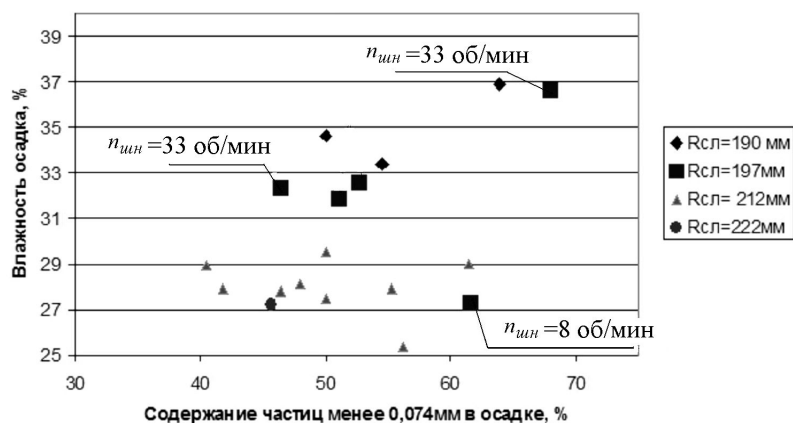


Рис.2 – Зависимость влажности осадка от радиуса слива
($n_{рот} = 1600$ об/мин; $n_{шн} = 21$ об/мин)

Рис. 2. Зависимость влажности осадка от радиуса слива
($n_{рот} = 1600$ об/мин; $n_{шн} = 21$ об/мин)

Для изображенных точек (за исключением полученных при измененных частотах вращения шнека) имеем зависимость:

$$W = 0,065 \cdot \gamma_- + 0,26 h_e + 21,4$$

(1)

где γ_- – содержание частиц менее 0,074 мм в %; $h_e = (D - 2r_c) / 2$ – глубина ванны суспензии в роторе, мм; $D = 450$ мм – внутренний диаметр ротора (с учетом толщины постели), мм; r_c – радиус слива.

Коэффициент корреляции составляет 0,76. Значимость коэффициентов подтверждается критерием Стьюдента ($t_{расч} > t_{табл}$) при числе степеней свободы 15 – для коэффициента при γ_- и доверительной вероятности 90% ($1,8 > 1,75$) т.е. на грани значимости; для остальных – при доверительной вероятности 95% ($6,2 > 2,1$) и ($11,7 > 2,1$) соответственно.

Стандартная ошибка определения влажности по уравнению (1) – 1,2% влажности.

Из рис. 2 также следует, что влажность осадка существенно зависит от частоты вращения шнека. При замедлении относительного вращения шнека с 21 об/мин до 8 об/мин влажность может быть снижена приблизительно на 4%. Замедление относительного вращения шнека, как известно, приводит к увеличению времени пребывания осадка в роторе и, значит, более полному обезвоживанию осадка. С другой стороны, снижается транспортирующая способность шнека.

Обращает на себя внимание малая величина коэффициента перед содержанием частиц класс менее 0,074 мм. Обычно его значение составляет 0,2...0,25 (для

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

обезвоживания концентратов флотации) [2]. Различие, на наш взгляд, обусловлено отличием в свойствах материала и режимных параметрах центрифугирования. В проведенных ранее исследованиях [2] содержание мельчайших частиц находилось в пределах 25...50%, а в наших экспериментах – от 40 до 70%. Фактор разделения угольных центрифуг обычно не превышал 500, а в наших экспериментах фактор разделения – не ниже 800.

Сравнение результатов работы центрифуг ОГШ-459 и ОГШ-469 показало, что осадок последней центрифуги имеет влажность на 2...3% ниже. Это можно объяснить большей протяженностью зоны обезвоживания в центрифуге ОГШ-469.

Частота вращения ротора в пределах 1620...2200 об/мин не оказывает существенного влияния на влажность осадка. Увеличение фактора разделения компенсируется уменьшением времени пребывания за счет ускорения относительной частоты вращения шнека.

Выводы

Снижение влажности в основном осуществляется вследствие мер, увеличивающих время пребывания осадка в зоне обезвоживания: замедления относительного вращения шнека, увеличения радиуса слива, удлинения конической части ротора. В результате оптимального выбора конструктивных и технологических параметров влажность осадка центрифуг типа ОГШ может быть снижена на 3...4%.

Список литературы

1. **Панфилов В.К., Мацак А.Ф., Трошин Г.П.** Обогащение антрацитового шлама на осадительных центрифугах // Уголь Украины. – 2003. – №5(557). – С. 35–42.
2. **Борц М.А., Бочков Ю.Н., Зарубин Л.С.** Шнековые осадительные центрифуги для угольной промышленности. – М.: Недра, 1970. – 195 с.

© Мацак А.Ф., Трошин А.Г., Пономарева Н.Г., 2006

*Надійшла до редколегії 20.08.2006 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н.*

УДК 622.813:622.765.4.004.82

В.И. КРИВОЩЕКОВ, канд. техн. наук,

И.Н. МАЦЮК

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ВОДОСНАБЖЕНИЕ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ БРИКЕТНЫХ ФАБРИК

Бурый уголь в мировом производстве электроэнергии составляет 4%, но в отдельных странах значительно больше, например, в Чехии – 63%. В

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Германії, з урахуванням новітніх технологій сжигання і забезпечення екологічних вимог, починаючи з 2000 року електроенергія з бурого вугля стала най дешевішою.

Як показує досвід розвинутих країн світу, бурі вугілля використовується не тільки як енергетичне паливо, але і як цінне сировина для хімічної і інших галузей промисловості.

В Україні при традиційній технології брикетування бурого вугля відходи брикетних фабрик – шламу (3% і більше) і крошка (до 15%) не переробляються внаслідок відсутності теоретичного і експериментального обґрунтування їх утилізації. Перспективним напрямком удосконалення процесу виробництва буровугільних брикетів є розробка безвідходної технології окремої переробки шламу і крошки, а також замкнутого циклу оборотного водопостачання брикетних фабрик, що виключить скидання за їх межі шламу і відповідно забруднення навколишнього середовища.

На основі вищезазначеного, авторами пропонується рішення актуальної задачі, яка полягає в визначенні закономірностей процесу безреагентної флотосепарації буровугільного шламу, кінетики процесу осадження, що є основою технологічних рішень окремої переробки відходів виробництва брикетів, а також розробка безвідходної технології переробки буровугільних шламу брикетних фабрик. Це забезпечує отримання освітленої води для замкнутого водопостачання і транспортуваного продукту для сжигання або брикетування з використанням раціонального обладнання.

Задачами дослідження є: виявлення і вивчення особливостей бурих вугілля і шламу брикетних фабрик, а також дослідження поверхневих властивостей шламу для обґрунтування роздільного признаку; визначення роздільного признаку буровугільного шламу з урахуванням його поверхневих властивостей для встановлення технологічної ефективності безреагентної флотосепарації; дослідження кінетики осадження і впливу різних флокулянтів на ефективність процесу згущення шламу для його уловлення і отримання оборотної води; розробка безвідходної технології переробки буровугільних шламу з метою їх утилізації на основі обґрунтування технологічних параметрів і відповідного обладнання.

Аналіз в області технології переробки бурих вугілля Дніпровського басейну і якісна характеристика цих вугілля свідчать, що бурі вугілля діляться на земляні молоді і щільні зрілі, що пов'язано з впливом метаморфізму і петрографічним складом. В порівнянні з каменними вугіллями вони містять бітумени, гумінові і карбонові кислоти, мають здатність до пластичних деформацій. При цьому розрізняють коллоїдну, капілярну, бітуміну, гуміново-кислотну, гідратаційно-молекулярну гіпотези брикетування бурого вугля без зв'язуючих.

Досліджені кількісні залежності між основними хіміко-технологічними показателями бурих вугілля Дніпровського басейну і шламу, визначаються їх петрографічним складом. Намі встановлено, що всплываюча і потонуваюча фракції буровугільного шламу відрізняються

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

количественным содержанием в них летучих веществ, первичной смолы полукоксования, битумов и гуминовых кислот.

Недостатком традиционной технологии производства буроугольных брикетов на брикетных фабриках являются потери топлива в виде сброса шламов за пределы фабрики из-за отсутствия замкнутого водно-шламового цикла.

Шламовая вода брикетной фабрики (смыв промплощадок и системы мокрого обеспыливания) включает всплывшую (46,96%) и потонувшую (53,04%) фракции с концентрацией твердого 10...30 кг/м³. Она трудно осветляется, поскольку скорость естественного осаждения частиц потонувшей фракции мала.

В настоящее время проблеме утилизации отходов производства придается особое значение в связи с охраной окружающей среды и рациональной эксплуатации брикетных фабрик, что предотвратит сбрасывание шламовых вод в карьер-отстойник. Поэтому создание эффективной технологии переработки шламов с технологическими параметрами соответствующего оборудования – одно из условий стабильности качественной работы фабрики.

Для проведения анализа поверхностных свойств всплывшей и потонувшей фракций были изготовлены брикеты этих фракций и по известной методике измерены краевые углы смачивания.

Методика изучения смачиваемости посредством замера краевых углов применяется не только в теоретических исследованиях элементарного явления прилипания, но и при исследованиях чисто прикладного характера. Этой методикой пользовались Д.С. Емельянов, М.Г. Ельяшевич, В.И. Классен и И.Н. Плаксин, результаты исследований которых более правильно объясняют качественную картину прилипания по сравнению с молекулярным механизмом, предложенным К.Ф. Белоглазовым.

Для всплывшей фракции буроугольного шлама величина краевого угла смачивания составила 122...136°, а потонувшей – 85...90°, что свидетельствует о высокой гидрофобности поверхности частиц шлама и особенно всплывшей фракции (рис. 1, 2). С целью проверки полученных результатов был измерен краевой угол смачивания парафина, принятый за эталонный образец [1].

Для определения зависимости краевого угла смачивания θ от температуры нагрева отбирали пробу рядового бурого угля, высушивали ее, охлаждали, разделяли в воде на всплывшую и потонувшую фракции, которые снова высушивали и затем отдельно брикетировали ручным прессом при постоянном давлении ($P = 120$ МПа) и различной температуре нагрева в муфельной печи с последующим охлаждением. Из полученных данных следует, что увеличение краевого угла смачивания обеих фракций связано с плавлением битумных смол, которые и повышают гидрофобность, особенно, всплывшей фракции, где их содержание наибольшее. Это дает основание в качестве разделительного признака для буроугольного шлама принять гидрофобность поверхности частиц и провести сепарацию шлама на всплывшую и потонувшую фракции, например, в безреагентном флотосепараторе, в котором всплывшая фракция в виде "коржа" с поверхности пульпы на выходе отделяется шибером. Применяемый метод расчета оборудования для осветления шламовых вод и сгущения пульп основан на определении скорости перемещения границы раздела

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

между осветленной водой и гидросмесью твердого в мерном цилиндре.

С целью исследования кинетики осаждения буроугольного шлама выполнено многофакторное планирование эксперимента и составлена регрессионная модель, которая предполагает одновременное изменение всех факторов, влияющих на процесс, что позволяет установить их взаимодействие и сократить число опытов.

На основе планирования эксперимента определялась область, в которой изучалось влияние рациональных параметров и проводились дополнительные эксперименты, необходимые для идентификации моделей кинетики.

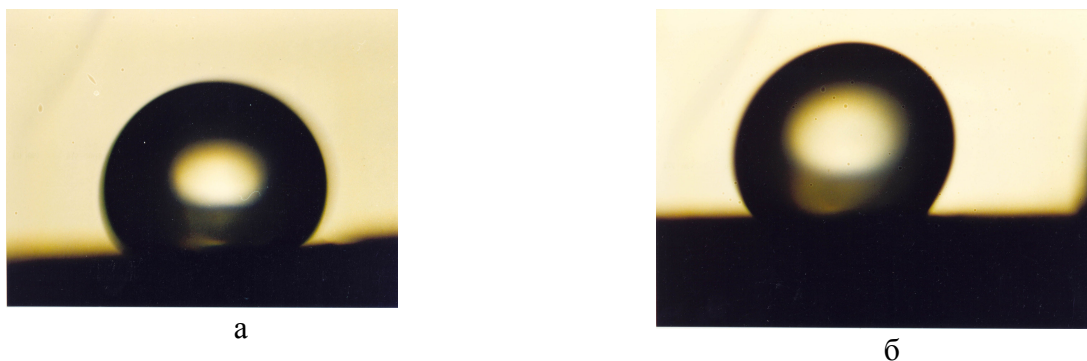


Рис. 1. Вид капли воды на поверхности брикета всплывшей фракции буроугольного шлама при $\theta_s = 136^\circ$ (а) и 122° (б)



Рис. 2. Вид капли воды на поверхности брикета потонувшей фракции $\theta_n = 88^\circ$ (а) и парафина $\theta = 105^\circ$ (б)

Уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$Y = 88,5 + 2,5X_1 + 3,5X_3 - 1,5X_2X_3,$$

где Y – выход осадка, %; X_1 – расход реагента полиакриламида, г/т; X_2 – плотность пульпы, %; X_3 – время осаждения, мин.

Изучено влияние различных флокулянтов (ПАА – полиакриламид, КАТ-FLOC 3840, КАТ F 148, КАН 20 VHM и X 99 B1) на осаждение потонувшей

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

фракції бурогоугольного шлама при концентрації твердої фази 50 кг/м^3 . Удельний расход флокулянтів становив 20, 40 і 60 г/т. Концентрація твердої фази в пульпі змінювалась в межах $10...100 \text{ кг/м}^3$.

Експериментальні дані процесу ступнення бурогоугольного шлама в циліндрі приведені на рис. 3 і 4.

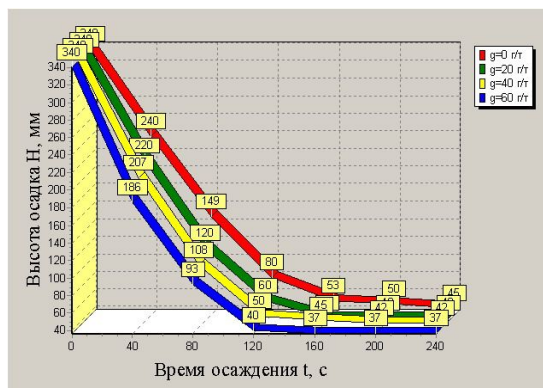
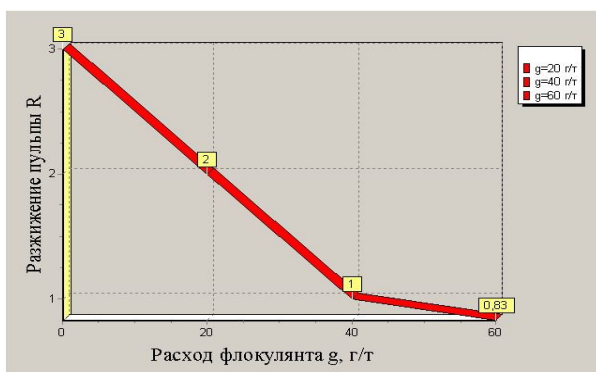
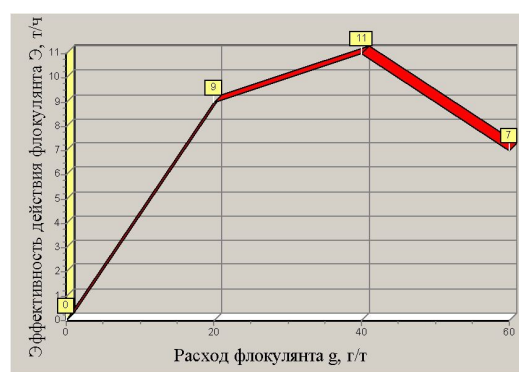


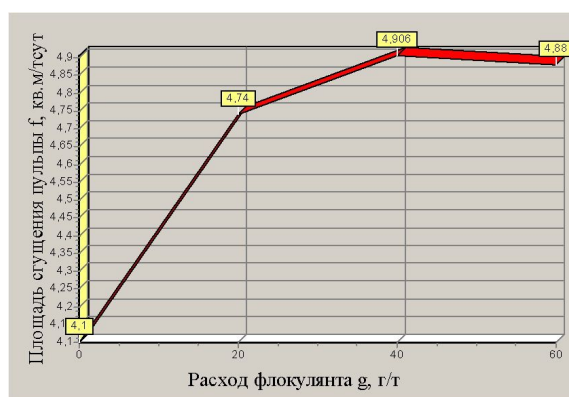
Рис. 3. Кинетика осаждения бурогоугольного шлама с ПАА при различном расходе реагента – g



а



б



в

Рис. 4. Влияние расхода ПАА на: разжижение (а); эффективность процесса осаждения (б); площадь ступнения (в)

Необходимую площадь ступнения, эффективность действия флокулянтов и

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

разжижение осветленного слоя определяли по следующим формулам:

$$f = (R_u - R_k) / V_k,$$

где f – удельная площадь сгущения, м²/(т·сут); R_u , R_k – разжижение соответственно исходной пульпы и в момент окончания осаждения частиц, м³/т; V_k – средняя скорость сгущения (осветления) пульпы для критической точки, м/сут;

$$\mathcal{E} = (V_{k\phi} - V_k) / (V_k \cdot g),$$

где \mathcal{E} – критерий эффективности действия флокулянтов, т/год; $V_{k\phi}$, V_k – средние скорости сгущения (осветления) пульпы для критической точки соответственно флокулированных и нефлокулированных частиц, м/сут; g – расход флокулянта, г/т;

$$R = (V_i \cdot p - Q) / (Q \cdot p),$$

где R – разжижение пульпы; V_i – объем зоны сгущения пульпы к данному моменту времени, см³; p – плотность зерен исходного материала, г/см³; Q – масса исходной навески, г.

Проведенные экспериментальные исследования по влиянию указанных флокулянтов на осаждение потонувшей фракции буроугольного шлама при концентрации твердой фазы 50 кг/м³ указывают на то, что наиболее эффективным флокулянт является ПАА либо КАТ-FLOC 3840. Водный раствор полиакриламида ПАА не обладает корродирующим действием на сталь и чугун, не токсичен, безвреден для животных, не действует на кожу и слизистую оболочку глаз. При его повышенном расходе (более 40 г/т) интенсивность процесса сгущения изменяется незначительно.

Выявлена существенная разность в скоростях осаждения частиц с различной концентрацией твердого при низком расходе флокулянта до (40 г/т). Осаждение наиболее крупных частиц буроугольного шлама сопровождается в начале процесса осаждения вытеснением жидкой и тонкодисперсной фаз в верхние слои пульпы, в результате чего увеличивается ее вязкость и сила сопротивления падению тонких частиц (менее 0,05 мм) возрастает, а скорость их осаждения в этих слоях снижается.

Разработанная технология утилизации отходов буроугольной брикетной фабрики заключается в следующем (рис. 5). В переработку поступает шламовая вода (с промплощадок, территории фабрики, обеспыливания штемпельного пресса, мокрого пылеулавливания) в количестве 125 м³/ч и с содержанием твердого 10...30 кг/м³. Эта вода разделяется на всплывшую и потонувшую фракции в безреагентном флотосепараторе. Потонувшая фракция шламовой пульпы подвергается отдельному кондиционированию и подается на сгущение в пластинчатый сгуститель.

Для интенсификации процессов осаждения, сгущения и отдельного кондиционирования шлама применяется ПАА либо КАТ-FLOC 3840, расход

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

котрого складає 40 г/т. Всплывшая фракція удаляється в пристрій для її збору і перемішування со згущеним шламом потонувшої фракції. Образовану суміш шламов обезвожують на вібростелі і потім транспортуєть в бункер обезвоженого шламу.

Бой брикетів і брикетну крошку піддають дробленню до 3 мм і подають в бункер дробленої крошки, а потім в герметичний шнек, в який дозують шлам із бункера обезвоженого шламу. Герметичним шнеком суміш шламу і крошки направляється на перемішування до транспортабельного готового продукту, який подають в бункер для отгрузки його споживачу.

Для реалізації схеми переробки відходів брикетної фабрики (рис. 5, 6) вибрано і обґрунтовано основне технологічне обладнання, яке може бути виготовлено в умовах брикетної фабрики.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

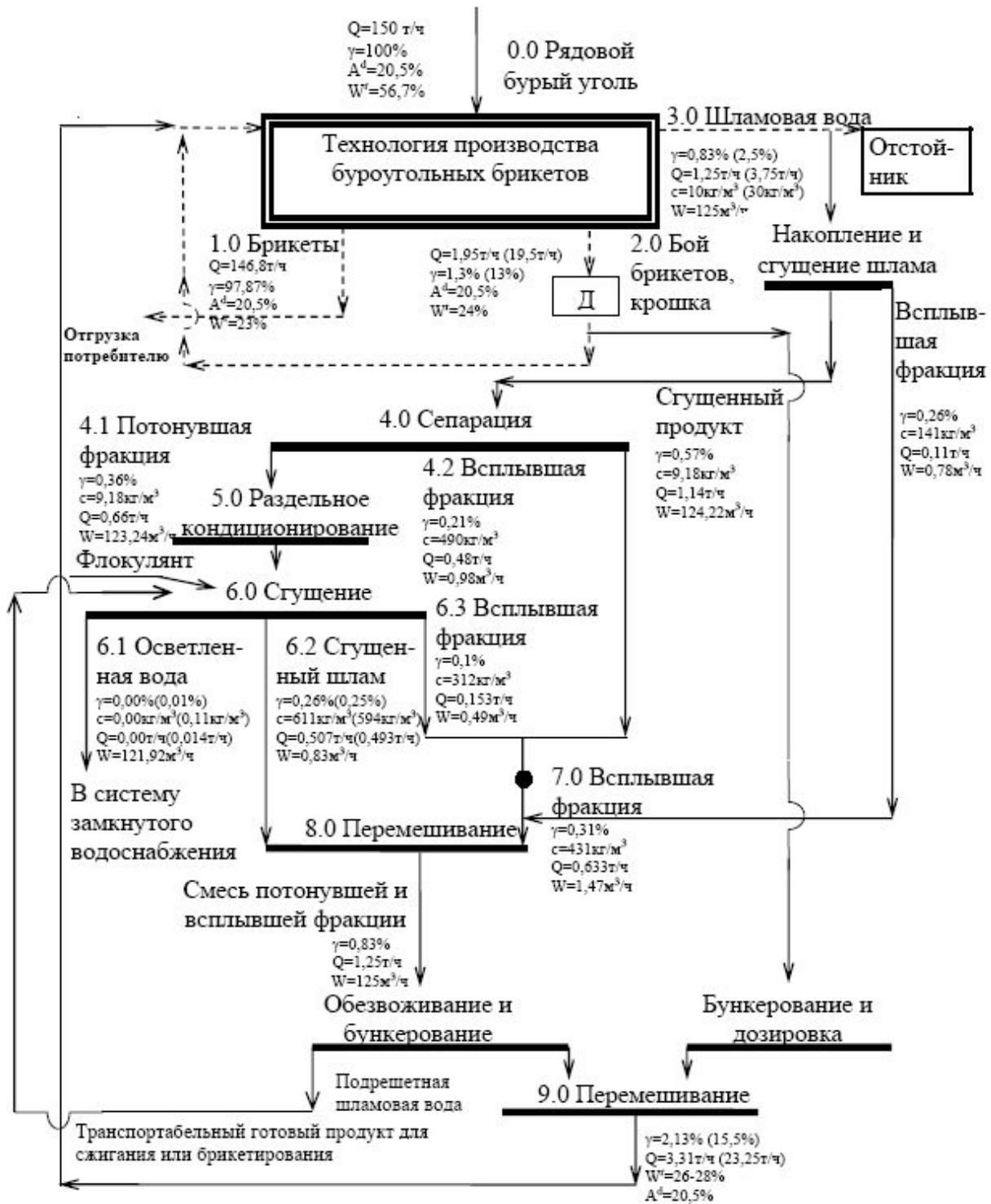


Рис. 5. Традиционная (-----) и предлагаемая (————) технологические схемы для переработки бурого угольного шлама

В этой технологии наиболее перспективной является безреагентная флотосепарация, характеризующаяся высокой технологической эффективностью, низкой энергоемкостью и простотой аппаратного исполнения.

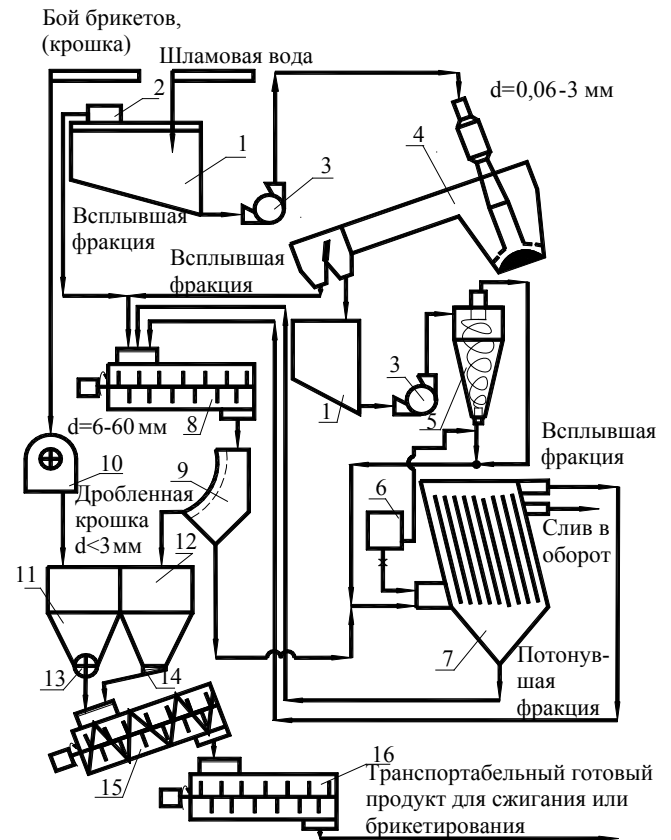
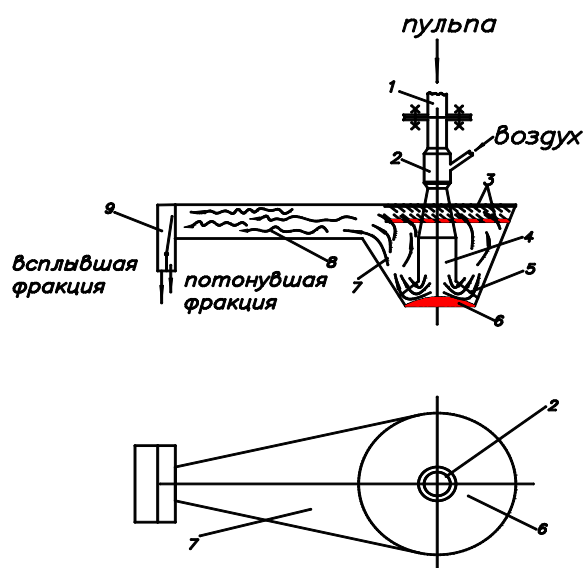


Рис. 6. Схема цепи аппаратов по переработке отходов брикетной фабрики:

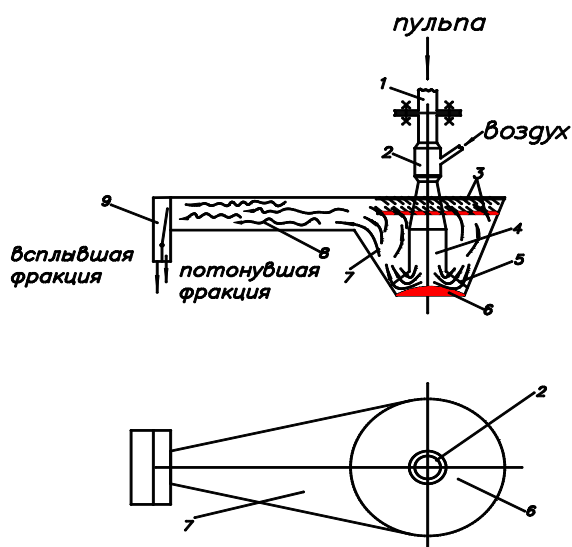
- 1 – емкость; 2 – реверсивная тележка; 3 – насос; 4 – флотосепаратор;
- 5 – устройство для отдельного кондиционирования; 6 – дозатор ПАА;
- 7 – полочный сгуститель; 8 – смеситель; 9 – вибросито; 10 – дробилка;
- 11, 12 – бункер; 13 – лопастной дозатор; 14 – дозатор;
- 15 – герметичный шнек; 16 – смеситель

Особенность нового безреагентного флотосепаратора (рис. 7) для переработки угольного шлама состоит в том, что к суживающемуся желобу примыкает флотационная камера с аэратором-эжектором [2].

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство



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



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. 7. Принципиальная схема безреагентного флотосепаратора:

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

- 1 – трубопровод; 2 – аэратор-эжектор; 3, 5 – успокоительные решетки;
4 – трубопровод пульповоздушной смеси; 6 – отбойная плита –
распределитель пульповоздушной смеси; 7 – флотокамера;
8 – суживающийся желоб; 9 – приемник продуктов сепарации с шибером

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 [3].

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 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 коэффициенты K_1 , K_2 , K_3 вычисляются:

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

$$K_2 = (\rho_{св}/\rho_c) (\rho_{сн}/\rho_c) = (1024,36/1025) (1345,12/1025) = 1,31;$$

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

Θ_g – краевой угол смачивания всплывшей фракции, град; Θ – краевой угол смачивания, соответствующий точке инверсии ($\cos\Theta = 0$, $\Theta = 90^\circ$) град;

$$\rho_{св} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_{i(1)} \gamma_{i(1)}}{\sum_{i=1}^n \gamma_{i(1)}},$$

$$\rho_{сн} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_{i(2)} \gamma_{i(2)}}{\sum_{i=1}^n \gamma_{i(2)}} -$$

средневзвешенная плотность всплывшей и потонувшей фракций; $\rho_c = 1025 \text{ кг/м}^3$ – плотность суспензии (шламовой воды) при плотности шлама 1350 кг/м^3 и концентрации твердого 100 кг/м^3 ; $\rho_{i(1)}$, $\rho_{i(2)}$ – средние значения узкой плотности всплывшей и потонувшей фракций, кг/м^3 ; $\gamma_{i(1)}$, $\gamma_{i(2)}$ – содержание (выход) всплывшей и потонувшей фракций узких плотностей, доли ед.; $d_{св}$, $d_{сн}$ – средневзвешенная крупность зерен всплывшей и потонувшей фракций, мм;

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

$$d_{св} = \sum_{i=1}^n d_i \gamma_{i(3)} = 0,743 \text{ мм};$$

$$d_{сн} = \sum_{i=1}^n d_i \gamma_{i(4)} = 1,049 \text{ мм};$$

d_i – середня крупність класов крупності всплывшей и потонувшей фракций, мм;
 $\gamma_{i(3)}$, $\gamma_{i(4)}$ – содержание классов крупности во всплывшей и потонувшей фракциях.

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

Максимальная крупность частиц всплывшей фракции

$$d_{\max} = K_1 \sqrt{\frac{\sigma}{K_2 g}} K_4 = 1,35 \sqrt{\frac{72,8}{1,31 \cdot 9,81}} 0,7 = 2,25 \text{ мм},$$

где σ – поверхностное натяжение на границе раздела газ-жидкость, мН/м; g – ускорение свободного падения м/с²; K_4 – коэффициент пропорциональности, учитывающий влияние формы частиц и условия их смачиваемости ($K_4 = 0,6-0,7$).

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

Если рассматривать закономерность изменения процесса в определенном интервале времени (от t_1 до t_2), то условия флотосепарации с уверенностью можно принять постоянными (рис. 8), хотя общая кинетическая характеристика процесса при $t = 0$ и $t \rightarrow \infty$ может изменяться со временем.

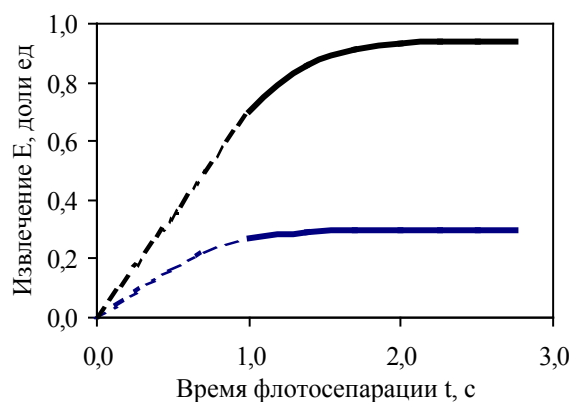


Рис. 8. Кинетика безреагентной флотосепарации:

- 1, 2 – частное извлечение всплывшей и потонувшей фракций во всплывший продукт;
 3 – эффективность флотосепарации ($\eta = E_e - E_n$)

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Изменение E_i в интервале времени от t_1 до t_2 можно с достаточной точностью аппроксимировать участком экспоненциальной кривой с $K_i = const$ и определить его значение как $K_i = \ln(1-E_i)/t$. Тогда можно записать:

$$E_e = 1 - e^{-k_e t};$$

$$E_n = 1 - e^{-k_n t},$$

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

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

$$E_a = 1 - e^{-k_a t} = 1 - a^{-1,329 \cdot 2} = 0,93;$$

$$E_i = 1 - e^{-k_i t} = 1 - a^{-0,164 \cdot 2} = 0,28;$$

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

а коэффициент селективности флотосепарации бурогоугольного шлама (отношение показателей скорости флотосепарации во всплывший продукт всплывшей и потонувшей фракций)

$$\tilde{n} = \ln[1/(1 - E_a)] / \ln[1/(1 - E_i)] = k_a t / (k_i t) = k_a / k_i = 8,1.$$

Раздельное кондиционирование пульпы путем гидроциклонирования и обработки реагентами песков гидроциклона с последующим их смешиванием со сливом позволяет значительно сократить расход реагентов. Поэтому техническая возможность компоновки раздельного кондиционирования и флотосепарации – это перспективное направление в развитии технологии переработки угольных шламов и других зернистых материалов.

Устройство для раздельного кондиционирования пульпы потонувшей фракции шлама состоит из цилиндрикоконического корпуса с загрузочным и разгрузочными патрубками, распылителя реагентов и регулятора забора воздуха [4, 5]. Полный перфорированный спиральный аэратор расположен по оси корпуса, что позволяет регулятором плотности относительно стенок корпуса создать регулируемый зазор. Сгущенный продукт (крупнозернистая фракция) и слив объединяют в смесителе, где происходит перераспределение реагента с поверхности крупных частиц на поверхность мелких с целью дальнейшего процесса сгущения пульпы.

Для процесса осаждения и сгущения принят полочный сгуститель с наклонными пластинами. Его преимущество заключается в высокой производительности при небольшой занимаемой площади, отсутствии движущихся частей и привода, а также

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

в незначительном износе деталей и малых эксплуатационных расходах. Эффективная площадь осаждения в аппарате соответствует сумме площадей всех пластин, а производительность такого сгустителя в 20 раз больше по сравнению с обычным сгустителем того же объема.

Выводы

1. После термической обработки и прессования бурого угля проявляются свойства гидрофобности его поверхности. Для всплывшей фракции буроугольного шлама величина краевого угла смачивания составила 122...136°, а потонувшей – 85...90°, что свидетельствует о высокой гидрофобности поверхности всплывшей фракции и позволяет принять краевой угол смачивания за разделительный признак, а также осуществить безреагентную флотосепарацию этих фракций с эффективностью до 65% и максимальной крупностью всплывшей фракции (2,25 мм).

2. Для осаждения и сгущения потонувшей фракции буроугольного шлама и получения осветленной воды в замкнутый цикл оборотного водоснабжения брикетных фабрик наиболее эффективным из флокулянтов является полиакриламид либо КАТ-FLOC 3840, а максимальная разность в скоростях осаждения с различной концентрацией твердого достигается при расходе флокулянта 40 г/т.

3. Раздельная переработка всплывшей и потонувшей фракций буроугольного шлама с последующим их перемешиванием с дробленным до 3 мм боем брикетов (крошкой) обусловлена поверхностными свойствами шлама. Причем до перемешивания раздельному кондиционированию и сгущению потонувшей фракции предшествует безреагентная флотосепарация.

4. Разработана безотходная технология переработки буроугольного шлама и крошки с замкнутым циклом водоснабжения и получением транспортабельного готового продукта для сжигания или брикетирования с содержанием влаги – 26...28%. Реализованы с положительным результатом отдельные элементы такой технологии на оборудовании, которое изготавливается в условиях мастерских брикетных фабрик.

Список литературы:

1. **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.
2. **Кривошеков В.И., Мацюк И.Н.** Безреагентная флотосепарация: метод и устройство // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2006. – Вип. 25(66)–26(67). – С. 84–92.
3. **Бедрань Н.Г.** Флотационные машины для обогащения углей. – М.: Недра, 1968. – 210 с.
4. Устройство для подготовки пульпы к процессу флотации А.с. 935133 СССР, МКИ ВОЗД 1/14. / **Я.С. Гольдберг, В.И. Кривошеков, Л.М. Зинич.** – Оpubл. 15.06.82, Бюл. № 2, 1982.
5. **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

УДК 622.794:537.528

А.А. БЕРЕЗНЯК, канд. техн. наук,
Е.О. КОЗЫРЬ, Е.А. НЕСТЕРЕНКО

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ФИЛЬТРОВАНИЯ ЧЕРЕЗ ОСАДОК ДИСТЕНА КРУПНОСТЬЮ 40–50 мкм

Уменьшение скорости фильтрации с течением времени объясняется сжимаемостью осадка и перераспределением тонких частиц по высоте фильтруемого слоя [2]. Сжимаемость сухих зернистых материалов часто не превышает 10%, поэтому с помощью этого фактора нельзя объяснить экспериментально наблюдаемое уменьшение скорости фильтрации более чем на порядок для осадков из частиц крупностью менее 50 мкм. Перемещение тонких частиц под действием потока жидкости из верхних слоев осадка в нижние по порам между крупными частицами действительно может значительно уменьшить проницаемость нижних слоев осадка и скорость фильтрации в целом. Это явление может наблюдаться только в ширококлассифицированных материалах, содержащих частицы, размер которых меньше размера пор между крупными частицами. Кроме того, проницаемость таких осадков может уменьшаться только в процессе их формирования, и после его завершения скорость фильтрации должна оставаться неизменной при постоянном составе фильтруемой жидкости.

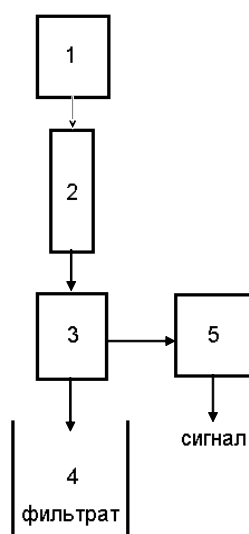


Рис. 1. Блок-схема
фильтровальной установки

Рис. 1. Блок-схема фильтровальной установки

Исследование кинетики фильтрации проводилось на стандартной колонке с

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

внутрішнім діаметром 7 мм при різниці тиску навколо 750 мм водного столба. Висота шару осаду вирівнялась 16 мм. Для виключення забруднення фільтруваної рідини розчинними солями в якості об'єкта дослідження був вибран нерозчинимий в воді мінерал дистен. Блок-схема установки приведена на рис 1. Вода з ємкості 1 самотеком поступає через колонку 2 в капельний расходомер 3 і далі в прийомник фільтрата 4. Капельний расходомер представляє собою випромінювач і прийомник інфрачервоного випромінювання, між якими пролітає падаюча крапля. В цей момент опір фотоприймача зменшується і реєструється формувачем імпульсів 5, який виготовлений на основі триггера Шмитта і виробляє прямокутні імпульси амплітудою 5 В і тривалістю навколо 5 мс. Ці імпульси далі через інтерфейсний порт поступають в комп'ютер, де період проходження крапель вимірюється програмно з точністю 1/18 с. В процесі вимірювань формуються файли даних, в яких послідовно записується кількість крапель і період їх проходження. Розмір крапель фіксований і може змінюватися за допомогою сменных насадок різного діаметра.

Далі інформація імпортувалася в прикладну програму обробки експериментальних даних SigmaPlot 9.0 де виконувалися розрахунки і результати представлялися в табличному і графічному вигляді.

Для ідеальної середовища, що складається з шарів, радіус пори в найбільш широкій частині при найбільш рихлій кубічеській укладці частинок, вимірюваний радіусом шара, вписаного між восьмью соприкасаючимися частинками [1]

$$r = 0,73 \frac{d}{2},$$

де r – радіус вписаного шара, м; d – діаметр частинки, м.

Слідом, для частинок крупності 50 мкм найбільший розмір пори дорівнює 36,5 мкм. Так як найменший розмір частинок в осадку (40 мкм) перевищує це значення, тому їх перерозподіл в процесі фільтрування виключено. Крім того, для забезпечення однакової початкової структури осаду він раніше формувался довгий час і потім не перемішувался в процесі всього часу проведення експериментів.

Проницаемость осаду визначалася з рівняння Дарсі [1]

$$\frac{1}{F} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{c}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{h}, \quad \text{слідом} \quad c = \frac{\mu h}{F \Delta P} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t},$$

де μ – в'язкість рідини, Н·с/м²; h – висота шару осаду, м; F – площа поперечного перерізу колонки, м²; ΔV – об'єм рідини, що проходить через колонку за час Δt , м³.

Під гідрравлічним еквівалентним (ефективним) діаметром каналів пористої середовища розуміють учетверений гідрравлічний радіус [2], т.е.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

$$d_{\text{эз}} = \frac{4m}{S_0}$$

где m – пористость среды; S_0 – удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Для оценки толщины гидратной пленки на поверхности частиц твердой фазы воспользуемся уравнением Кармана [1]

$$\frac{1}{F} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{m^3}{5S_0^2 \mu} \cdot \frac{\Delta p}{h}$$

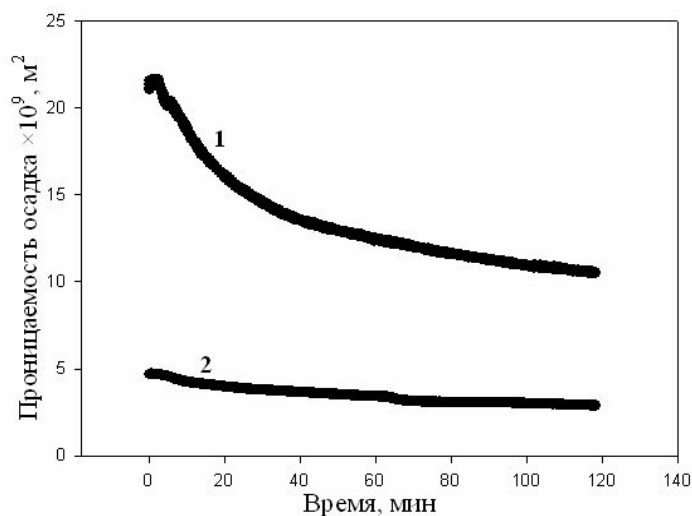
Сравнивая это выражение с уравнением Дарси, выразим проницаемость осадка через эффективный гидравлический диаметр каналов среды:

$$\tilde{n} = \frac{m^3}{5S_0^2} = \frac{m}{80} \left(\frac{4m}{S_0} \right)^2 = \frac{md^2 y \tilde{a}}{80}$$

Пусть проницаемость среды уменьшилась с c_1 до c_2 . При этом эффективный гидравлический диаметр уменьшился на величину, равную удвоенной толщине гидратной пленки 2δ . Используя отношение проницаемостей, можем определить изменение толщины гидратной пленки по формуле:

$$\delta = \frac{d y \tilde{a}}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{c_2}{c_1}} \right)$$

На рис. 1 приведены кривые фильтрации дистиллированной воды через слой дистена высотой 16 мм при перепаде давления 7,26 кПа.



Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Рис. 2. Зависимости изменения проницаемости осадка дистена от времени (1) при фильтровании дистиллированной воды через сутки (2)

Как видим, проницаемость осадка в течение всего времени проведения эксперимента нелинейно уменьшается. Отношение максимальной проницаемости к минимальной равно 5,5.

Средний диаметр частиц для узкокласифицированного материала можно определять как среднеарифметическое значение [1] и для нашего случая

$d_{cp} = 45$ мкм. Принимая пористость дистена равной 0,46, также эффективный гидравлический диаметр

$$d_{эз} = \frac{2}{3} \cdot \frac{m}{1-m} d_{cp}$$

Подставив соответствующие величины, найдем, что эффективный гидравлический диаметр равен 25,6 мкм. Следовательно, уменьшению проницаемости осадка в 5,5 раза соответствует увеличение толщины гидратной пленки на 7,33 мкм.

Полученное значение намного превосходит толщину гидратного слоя, образованного молекулами воды, взаимодействующими с двойным электрическим слоем на поверхности твердой фазы. Объяснением этому фактору может быть структурирование дипольных молекул воды на значительном расстоянии от твердой поверхности, равном десяткам тысяч размеров молекулы воды. Так как несущие заряд противоионы находятся в гидратном слое, то они несомненно участвуют в структурировании воды. Их вид и концентрация должны влиять на величину гидратного слоя.

Для проверки этого предположения проводилось фильтрование дистиллированной воды с добавкой кислоты HCl до pH=3 и KOH до pH=11. Результаты экспериментов представлены на рис. 3 и 4.

В начальный момент времени в течение приблизительно 5 мин через осадок протекала жидкость, находящаяся в колонке, а затем к осадку подходил раствор с реагентом. Как следует из рис. 3 (кривая 1), при поступлении в слой осадка кислой среды его проницаемость резко увеличилась более чем в 3 раза (от $4 \cdot 10^{-9}$ до $13 \cdot 10^{-9}$), а затем стала нелинейно уменьшаться. Интересно отметить, что через сутки без движения кислой среды через осадок его проницаемость восстановилась до значения $12 \cdot 10^{-9}$. Промывка осадка дистиллированной водой (кривая 2) привела к уменьшению проницаемости, причем скорость "запирания" осадка больше, чем для кислой среды.

В случае щелочной среды (эксперимент проводился через сутки) проницаемость осадка увеличилась от $2,5 \cdot 10^{-9}$ до $15 \cdot 10^{-9}$ (или в 6 раз) с последующим уменьшением, как и для кислой среды (рис. 4, кривая 1). Через сутки без движения раствора через колонку проницаемость восстановилась до значения $11 \cdot 10^{-9}$, что в относительных величинах меньше, чем в случае предыдущего эксперимента. Последующая промывка колонки дистиллированной водой снова уменьшила проницаемость осадка

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

(рис. 4, кривая 2), приче́м на кривой наблюдается перегиб через 10 мин фильтрования. Можно предположить, что перегиб обусловлен удалением из осадка ионов двух видов, поскольку на поверхности твердой фазы остались сорбированные ионы от предыдущего эксперимента.

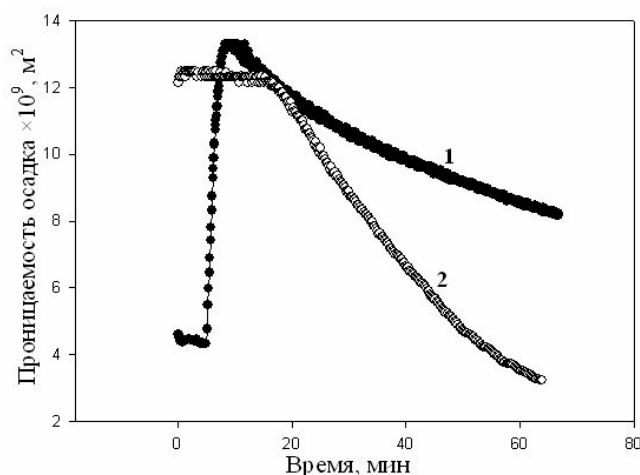


Рис. 3. Кривые фильтрования раствора HCl при pH=3 (1) и промывки колонки дистиллированной водой через сутки (2)

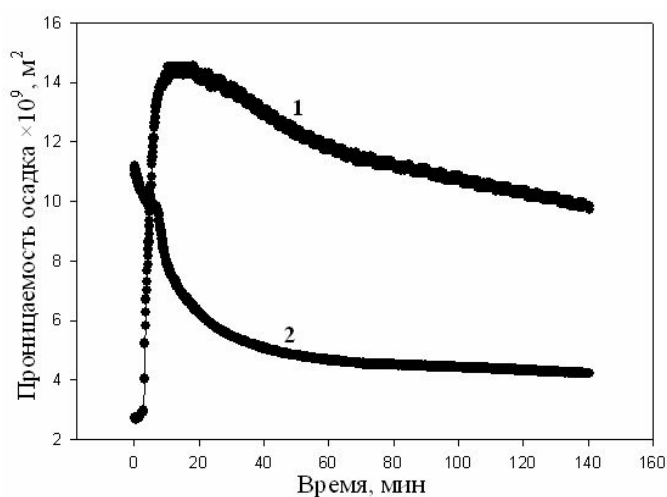


Рис. 4. Кривые фильтрования раствора KOH при pH=11 (1) и промывки колонки дистиллированной водой через сутки (2)

На рис. 5 представлены результаты фильтрования 0,1% раствора NaCl при прежних неизменных условиях.

Сравнение кривой 1 на рис. 5 с одноименной кривой на рис. 1 показывает, что скорости уменьшения проницаемости осадка приблизительно одинаковы в обоих случаях. В растворах одновременно присутствовали ионы сильного основания и

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

сильной кислоты с противоположными зарядами и валентностью, равной единице. Ионные радиусы и подвижности этих ионов близки, поэтому следует полагать, что их влияние на структуру гидратной оболочки взаимно компенсируется.

Промывка осадка дистиллированной водой (кривая 2) обнаруживает перегиб, сходный с перегибом на рис 5, кривая 2, что подтверждает предположение о последовательном удалении различных ионов из осадка. Следует отметить, что конечная проницаемость осадка в 4 раза меньше, чем в предыдущем эксперименте, и объясняется это неполным удалением ионов при промывке осадка.

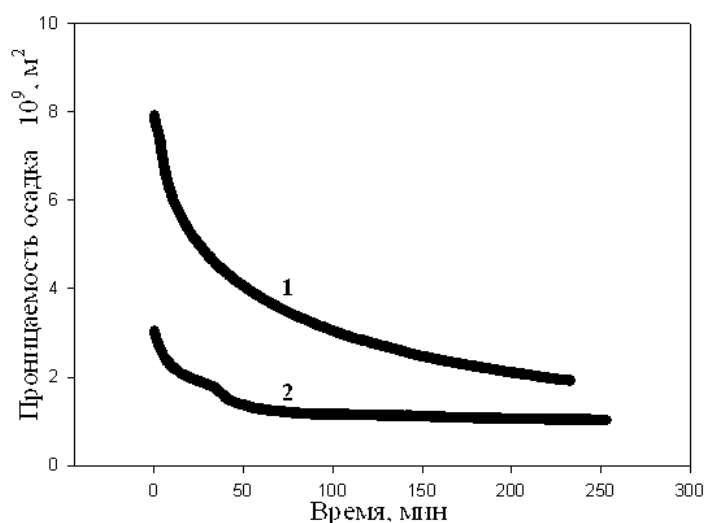


Рис. 5. Кривые фильтрования раствора NaCl концентрации 0,1% (1) и промывки колонки дистиллированной водой через сутки (2)

Для исследования влияния поливалентных ионов слабого основания и сильной кислоты на кинетику фильтрования использовали 2,5% раствор MnSO_4 , диссоциирующий на катионы Mn^{2+} и анионы SO_4^{2-} . Размеры и подвижность этих ионов различны. Раствор вводился в верхнюю часть колонки в количестве 2 мл. Результаты представлены на рис. 6.

Этот эксперимент проводился через 2 недели после предыдущего. Необходимо отметить, что за это время проницаемость осадка самопроизвольно восстановилась до величины $11 \cdot 10^{-9}$, однако после начала фильтрования быстро уменьшилась до значения, являвшегося конечным в предыдущем опыте.

Через 175 мин после начала опыта была введена первая порция раствора реагента. Этому моменту соответствует скачкообразное увеличение проницаемости осадка почти в 6 раз. Объем капли равнялся 0,0326 мл, а свободный объем колонки – 2,925 мл. Таким образом, реагент проходил через колонку в течение времени, соответствующего падению 90 капель, или в данном случае 25 мин. Это время с учетом диффузии реагента следует несколько увеличить. На графике этому времени соответствует перегиб напротив отметки несколько превышающей 200 мин.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Вторая порция в количестве 2 мл раствора $MnSO_4$ была добавлена через 230 мин после начала фильтрования. Этому моменту на графике соответствует второй скачок увеличения проницаемости осадка. Его величина значительно меньше, чем первого, что может указывать на эффект насыщения при воздействии реагента. Другими словами, в формировании гидратной пленки участвует определенное количество ионов, и увеличение их количества сверх этой меры не приводит к значительному изменению результата. Несомненно, изучение этого вопроса требует дополнительных исследований.

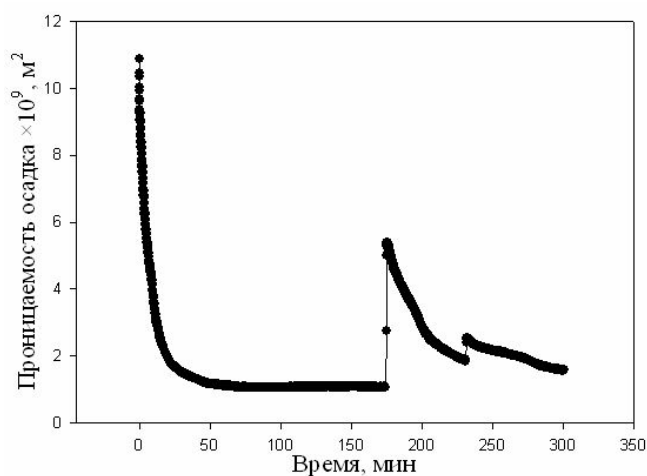


Рис. 6. Зависимость изменения проницаемости осадка дистена от времени при порционном добавлении раствора $MnSO_4$

Выводы.

1. При движении воды вдоль поверхности твердых частиц образуется неподвижная гидратная пленка толщиной до 10 мкм.

2. При воздействии различных ионов толщина гидратной пленки может изменяться, что приводит соответственно и к изменению проницаемости осадка.

3. Изменения структуры гидратной пленки, можно управлять процессом фильтрования тонкодисперсных суспензий.

Список литературы

1. Бейлин М.И. Теоретические основы процессов обезвоживания углей. – М.: Недра, 1969. – 240 с.
2. Жужиков В.А. Фильтрование. – М.: Химия, 1980. – 400 с.

© Березняк А.А., Козырь Е.О., Нестеренко Е.А., 2006

*Надійшла до редколегії 23.10.2006 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н.*