

## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

1. **Петров Г.А.** Гидравлика переменной массы (Движение с изменением расхода вдоль пути). – Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1964. – 224 с.
2. **Ерошенко В.М., Зайчик Л.И.** Гидродинамика и тепломассообмен на проницаемых поверхностях. – М.: Наука, 1984. – 275 с.
3. **Сансиев В.Г.** Течение вязкой жидкости по ситовой поверхности // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип. 22(63). – С. 136–145.
4. **Стокер Дж.Дж.** Волны на воде. Математическая теория и приложения. – М.: Изд-во иностр. лит., 1959. – 618 с.
5. **Мошев В.В., Иванов В.А.** Реологическое поведение концентрированных неньютоновских суспензий. – М.: Наука, 1990. – 88 с.
6. **Сансиев В.Г.** Течение жидкости через щель колосникового сита тонкого грохочения // Обогащение полезных ископаемых: Науч.-техн. сб. – 2004. – Вып. 20(61). – С. 88–94.
7. ГОСТ 9074-71. Сетка щелевая колосниковообразная из проволоки фасонного сечения. – М.: Госкомстандарт, 1971. – 10 с.
8. Практикум по коллоидной химии / Под ред. **С.С. Воюцко, Р.М. Панич.** – М.: Химия, 1974. – 224 с.
9. **Найфэ А.** Методы возмущений. – М.: Мир, 1976. – 456 с.
10. **Лойцянский Л.Г.** Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1987. – 840 с.

© Полулях А.Д., Сансиев В.Г., 2006

*Надійшла до редколегії 26.04.2006 р.*

*Рекомендовано до публікації*

УДК 622.794

**А.С. ГОЛИКОВ**

(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

### **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ВОДНО-ШЛАМОВЫХ СИСТЕМ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК**

Задачи расчета водно-шламовых схем весьма разнообразны и зависят от конкретных целей. Однако в большинстве случаев они связаны с определением содержания твердого в воде, используемой для технологических целей, нагрузки (по твердому и объему) на процессы регенерации шламовой воды, потребностей фабрики в свежей воде, количества регенерируемой шламовой воды, времени установления равновесного состояния системы шламовых вод.

Разнообразие существующих методов определяют множество уравнений и математических моделей для определения характеристик (производительность по твердому и объему, содержание твердого) потоков шламовых вод в конкретных водно-шламовых схемах, содержание твердого в оборотной воде, количества шлама, циркулирующего в оборотной воде, объема шламовой воды, выводимой из системы шламовых вод для стабилизации содержания твердого в оборотной воде. Различные варианты схем осветления шламовых вод

163

**Збагачення корисних копалин, 2006. – Вип. 25(66)–26(67)**

## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

целесообразно анализировать с помощью уравнений и математических моделей, предполагающих одинаковые технологические параметры сравниваемых схем [2].

Значительный вклад в исследование неравновесных циркуляционных процессов и повышение эффективности работы систем осветления оборотных вод внесли Н.Г. Бедрань, В.С. Бутовецкий, В.А. Глембоцкий, И.И. Зозуля, В.И. Кармазин, П.И. Пилов, Т.Г. Фоменко, Г.В. Самойлик, О.С. Богданов, М.А. Борц, Е.Г. Тресков и др., среди зарубежных ученых А. Баттаглия, Д. Висман, Г. Травинский и др. Однако, теоретические вопросы, связанные с накоплением шламов в замкнутых системах, рассматривались немногими авторами.

Сложность проблемы выбора систем осветления оборотных вод углеобогатительных фабрик вызвала появление большого количества работ в этой области. Часть авторов в этих работах уделяют внимание главным образом обеспечению равновесного состояния по твердому в двухстадиальных системах осветления. При этом, рассматривая процессы накопления шламов в замкнутых системах с учетом связи их с закономерностями извлечения шлама в сгущенные продукты сгустительно-осветлительных устройств и в конечные продукты обогащения, разные авторы делают противоположные выводы [1]. Например, Г.И. Прейгерзон, Н.И. Малаховский, Л.М. Витренко рассматривают непрерывный процесс накопления шлама в виде последовательных циклов с постоянными коэффициентами извлечения шламов. При этом не учитывается извлечение шлама в продукты обогащения. На основании этого делается вывод о невозможности достижения равновесного состояния без систематического сброса части оборотных вод за пределы фабрики. В свое время внедрение таких систем привело к загрязнению окружающей среды, потери горючей массы и нерациональному использованию природных ресурсов.

Зарубежные авторы, исходя из предположения, что система осветления достигает равновесного состояния, описывают количество шлама в системе с помощью уравнений материального баланса. В работе Г. Травинского накопление шлама в равновесной замкнутой системе (рис. 1) определяется уравнением

$$F + G = f + g + pF(1-E_1) + pG(1-E_2), \quad (1)$$

где  $F$  и  $G$  – соответственно количество в подрешетных водах шлама крупностью соответственно меньше и больше граничного зерна;  $f$ ,  $g$  – вновь образованное количество шлама крупностью соответственно меньше и больше граничного зерна;  $p$  – часть потока подрешетной воды, направляемой на сгущение;  $E_1$ ,  $E_2$  – извлечение в сгущенный продукт шлама крупностью соответственно менее и более граничного размера [5].

Рис. 1. Модель обогатительной фабрики по Травинскому

Наряду с явными достоинствами этой работы следует отметить ряд существенных недостатков: шлам, приходящий в систему с исходным питанием, не принимается во внимание; извлечение шлама в конечные продукты гравитационного обогащения не учитывается; приводится баланс по шламу в равновесном состоянии системы без рассмотрения процесса накопления шлама в динамики. Данная модель не дает четкого представления процесса накопления тонкого и зернистого шлама в системе. Накопление шлама начинается практически после запуска водно-шламовой системы и до момента достижения равновесной концентрации проходит несколько часов, а это время не учитывается. Не возможно также дифференцировать накопление тонкого и зернистого шлама по потокам внутри обогатительной фабрики, а выделяется единственный поток всех подрешетных вод фабрики.

Дж. Абот и А. Инст [6] рассматривают накопление тонких частиц в системе как конвергентный ряд, сумма членов которого:

$$B = f\{1/[1 - x(1 - R)/100]\}, \quad (2)$$

где  $B$  – накопление тонких частиц;  $f$  – количество тонких частиц в питании;  $x$  – часть слива, направляемая в циркуляцию;  $R$  – коэффициент разделения в сгущенный продукт.

Если вместо коэффициента разделения в сгущенный продукт  $R$  подставить коэффициент разделения частиц в слив  $1 - R$ , принять  $x = 100\%$  и  $f = g$ , то зависимость приходит к уравнению, предложенному Н.И. Малаховским. Английские ученые повторяют трактовку Н.И. Малаховского с теми же

## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

недостатками. При этом принимается во внимание только последняя стадия насыщения системы тонкими частицами. Такой подход не позволяет рассмотреть процесс накопления шлама и его основные показатели по истечении времени. Предложенные этими авторами системы с глубоким осветлением части оборотной воды малоэффективны из-за значительного накопления со временем тончайших илов в системе. Так как эти схемы предусматривают наличие двух стадий осветления и обработки шламовых вод. А двухстадиальные водно-шламовые схемы характеризуются наличием большим числом возвратных потоков, которые и являются источниками циркуляции и накопления тонких шламов. Следствием этого явилось снижение эффективности обогащения мелкого угля в отсадочных машинах, ухудшение условий флокуляции и увеличение расхода реагентов, нарушение процесса фильтрования.

Тем не менее, эти исследования создали предпосылки для обобщения сведений о работе систем осветления оборотных вод и дальнейшего развития исследований.

Впервые недостатки глубокого осветления части оборотных вод с применением двухстадиальных водно-шламовых систем выявила группа ученых института ИООТ в составе В.С. Никитиной, М.А. Борца, Е.Г. Трескова, Н.И. Давыдкова, В.А. Острога. Ими было уделено основное внимание упрощению систем осветления оборотных вод. Эти авторы пришли к выводу о том, что предварительное сгущение шлама перед флотацией в радиальных сгустителях отрицательно отрицательно влияет на работу водно-шламовой системы и фабрики в целом. Применение радиальных сгустителей для предварительного и окончательного сгущения увеличивают время достижения равновесной концентрации в системе.

В работах ученых институтов Укрниуглеобогащение и ДПИ В.С. Бутовецкого, А.М. Коткина, И.И. Зозули рассматривались теоретические вопросы процессов накопления шламов в замкнутых системах, на основе которых разработаны основы расчета и проектирования систем с минимальным накоплением тонких шламов. В.С. Бутовецкий впервые теоретически доказал, что накопление шлама имеет предел в любой системе осветления, и предложил использовать комбинированную систему, в которой только часть шламовой воды подвергается предварительному сгущению. Кроме того, он предложил оценивать работу систем регенерации по показателю циркуляции, определяемому из соотношения

$$K = (G_p + G_\delta)/(G_p + G_\delta + G_o + G_w), \quad (3)$$

где  $G_p$  и  $G_\delta$  – количество шлама поступающего в систему с рядовым углем и образующегося дополнительно в процессе обогащения, соответственно, т/ч;  $G_o$

## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

и  $G_{ш}$  – количество шлама в оборотной воде и теряемого со сбросами соответственно, т/ч [1].

Учитывая закономерности классификации шлама в сгустительно-осветлительных аппаратах выражение (3) можно считать эквивалентным выражению

$$K = (g_{01}/(g_1+g_2)) + (g_{02}/(g_1+g_2)), \quad (4)$$

где  $g_{01}$  – количество тонкого шлама крупностью менее граничного зерна, поступающего в систему с рядовым углем и дополнительно образовавшегося, т/ч;  $g_{02}$  – количество зернистого шлама более граничного зерна, поступающего в систему с рядовым углем и дополнительно образовавшегося в процессе обогащения, т/ч;  $g_1$  – количество всего тонкого шлама, поступившего в систему с рядовым углем, дополнительно образовавшегося и с оборотной водой, т/ч;  $g_2$  – количество всего зернистого шлама, поступающего в систему, т/ч.

Учитывая показатель циркуляции тонкого и зернистого шламов а также их содержание, поступающее в систему, коэффициент циркуляции можно определить из выражения

$$K = \gamma_1 K_1 + \gamma_2 K_2, \quad (5)$$

где  $\gamma_1$  – содержание тонкого шлама, поступающее в систему, дол. ед.;  $\gamma_2$  – содержание зернистого шлама, поступающего в систему водно-шламового хозяйства дол. ед.;  $K_1$  – коэффициент циркуляции тонкого шлама;  $K_2$  – коэффициент циркуляции зернистого шлама [3].

Первый член этого выражения характеризует количество тонкого шлама, поступающего в систему при равновесном состоянии, а второй член – количество зернистого шлама.

Для анализа технологической эффективности различных схем осветления оборотных вод определяются показатели циркуляции соответствующих схем. Величины  $\gamma_1, \gamma_2$  в формуле (5) характеризуют гранулометрический состав исходного шлама и не зависят от принятой схемы. Значения  $K_1, K_2$  показывают во сколько раз количество оборотного тонкого и зернистого шламов превышает количество вновь поступившего шлама той же крупности. Следовательно, величины  $K_1, K_2$  зависят от принятой схемы водно-шламового хозяйства и определяются степенью извлечения шламов, обеспечиваемой схемой. Определение показателя циркуляции рассматриваемой схемы состоит в нахождении показателей циркуляции тонкого и зернистого шламов. Для этого составляется статическая математическая модель схемы, определяются значения  $K_1, K_2$ , а затем по формуле (5) определяется общий показатель

## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

циркуляції  $K$ . Сопоставляя между собой полученные для различных схем показатели циркуляции можно определить, какая из рассмотренных схем более эффективна [3].

Эта работа внесла определенный вклад в исследовании проблемы, однако, принятые В.С. Бутовецким статические математические модели не отражали связи технологических факторов, описывающих изменение состояния системы во времени, и не позволяли производить оценку различных вариантов систем осветления.

В работе И.И. Зозули и И.Е. Штейнберга теоретические закономерности процессов накопления шламов в замкнутых циклах рассмотрены на качественно новом уровне [4]. Здесь накопление шлама определяется уравнением вида

$$B = f_t + \sum f_i \prod U_k + q_t + \sum q_i \prod I_k, \quad (6)$$

где  $f$ ,  $q$  – относительные количества соответственно тонкого и зернистого шлама, поступающего в систему с учетом шлагообразования:  $f + q = 1$ ;  $U_k$ ,  $I_k$  – упрощенные обозначения, принятые для сокращения общего вида уравнения при описании сложных систем осветления;  $\prod$  – знак произведений  $U_k$  и  $I_k$  при переменном индексе  $k$ ,  $k$  изменяется от  $k=i$  до  $(t-1)$ ;  $\sum$  – знак суммы произведений при переменном индексе  $i$ ;  $i$  изменяется от  $i=1$  до  $(t-1)$ ;  $i$  и  $k$  – порядковые номера интервалов (ступеней);  $t$  – время, считая от начала работы системы с нулевым содержанием твердого в сливе в безразмерных единицах.

И.И. Зозулей доказано, что процессы накопления тонкого и зернистого шлама протекают с различной скоростью. При работе в замкнутом цикле сначала достигается предельное значение относительного количества зернистого шлама, а затем в течении более длительного времени продолжается насыщение системы более тонкими частицами. Насыщение системы тонкими частицами продолжается до тех пор, пока количество шлама, поступающего в систему, не станет равным количеству шлама, извлекаемого из системы. Теоретически равновесие при накоплении шлама наступает при  $t \rightarrow \infty$ . Необходимо отметить, что для определения некоторых параметров уравнения требуется большая вычислительная работа, что усложняет применение метода для инженерных расчетов.

Проанализированные методы отличаются между собой способами описания процесса накопления шлама в замкнутых системах, принятыми математическими моделями систем осветления критериями оценок и конечными выводами. Результаты, получаемые разными авторами, часто противоречат друг другу. Разными авторами предложены различные критерии оптимизации работы водно-шламовых систем, одним из которых является коэффициент циркуляции шлама в оборотной воде. Как показала практика, этот критерий не характеризует работу системы в полной мере, так как не учитывает

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

компоновку и управление потоками шлама. Кроме того, этот критерий скорее технологический и не соответствует теоретическому уровню обобщения. Представленные методы расчета систем осветления не дают возможности проанализировать работу системы с точки зрения ее инерционности. Не представляется возможным также проанализировать изменения концентрации тонкого и зернистого шлама в зависимости от пройденного времени. А времени достижения равновесной концентрации шлама уделено очень мало внимания, хотя оно является одной из основных динамических характеристик процесса накопления. Известные методы не затрагивают распределение шлама по узлам системы, по соединяющим их потокам. Не учитывается время пребывания частицы шлама в узлах, аппаратах и трубопроводах водно-шламовой системы. Большинство авторов разрабатывают свои модели накопления и критерии оптимизации, считая концентрацию шлама в системе равновесной. Однако процесс выхода системы на установившийся режим работы может занимать несколько часов. А по большому счету этот процесс бесконечно долгий. Поэтому данные модели не дают четкого представления о механизме накопления шлама, об инерционности системы в целом. Назревает острая необходимость в разработке более совершенной методике моделирования процессов, происходящих при циркуляции и накоплении шламов не только в системе в целом, но и в потоках и узлах.

Вполне оправдал себя в этом исследовательском направлении метод имитационного численного моделирования. При имитационном моделировании поведение исследуемой системы воспроизводится с помощью ЭВМ, и на основе полученных данных делаются выводы о свойствах системы и ее поведении. При этом численная модель представляется в виде алгоритмического описания моделируемого процесса. Разработанная модель адекватна объекту исследования, так как все существенные входные и управляющие параметры включены в модель. Такими параметрами являются количество шлама на входе в систему, количество шлама, уходящего с конечными продуктами, коэффициенты распределения шлама между узлами системы, взаимосвязь узлов (топология) системы. Предлагаемая численная модель системы осветления, учитывает все основные факторы процесса накопления шламов в оборотной воде – материальный баланс по количеству шлама, концентрацию шлама во всех узлах и аппаратах (через коэффициенты распределения шлама аппаратами), скорость выведения шлама, а также производство энтропии [1]. Используемая для исследования программа основана на применении нейронных сетей. Эта программа позволяет смоделировать работу водно-шламовой системы с адекватной точностью относительно действующей системы. Исходными данными являются: коэффициенты распределения шлама, полученные на основании данных опробования реальных потоков системы, транспортные задержки последних, инерционность узлов и аппаратов.

## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Предложенный метод позволяет провести тщательный анализ накопления тонкого и зернистого шлама в системе и, более того, рассмотреть его как функцию от времени. А большинство авторов предлагают свои модели из учета того, что система уже находится в равновесном режиме, хотя в действительности это очень долгий процесс. Продолжительность неустановившегося режима очень важное обстоятельство при анализе накопления шлама в системе, так как постоянно меняющееся содержание твердого в питании аппаратов в системе отрицательно влияет на эффективность их работы. Поэтому необходимо проводить оценку инерционности аппаратов, звеньев и цепей водно-шламовой системы. Численный метод моделирования позволяет:

- определить количество тонкого и зернистого шлама в любом аппарате системы, в любой момент времени;
- определить время продолжительности неустановившегося режима для каждого аппарата системы;
- учесть инерционность поступления питания для каждого аппарата и время пребывания в нем порции шлама;
- установить степень взаимовлияния (с точки зрения накопления тонкого и зернистого шлама) аппаратов и узлов системы;
- оценить эффективность работы водно-шламовой системы по содержанию твердого в оборотной воде и по времени его стабилизации.
- выявить рациональность существующего расположения аппаратов (с точки зрения накопления тонкого и зернистого шлама) и узлов системы

Подводя итог, необходимо отметить, что предложенный метод исследования предоставляет очень широкие возможности для анализа процессов при циркуляции и накоплении шламов за время их нестабильной концентрации в системе.

### Список литературы

- 1.Назимко Е.И., Гарковенко Е.Е. Совершенствование работы систем осветления оборотных вод. – Днепропетровск, 2000. – 22 с.
- 2.И.С. Благов и др. Обратное водоснабжение углеобогачительных фабрик. – М.: Недра, 1980. – 216 с.
- 3.Т.Г. Фоменко, В.С. Буговецкий, Е.М. Погарцева Водно-шламовое хозяйство углеобогачительных фабрик. - М.: Недра, 1974. – 212 с.
- 4.И.И. Зозуля, И.Е. Штейнберг, Г.А. Володин, Т.И. Никифоров. Методика расчета замкнутых равновесных систем осветления моечных вод углеобогачительных фабрик/Обогащение и брикетирование угля. – М, 1968, № 3, С. 33–36.
- 5.Травинский Г. Осветление части оборотной воды на углеобогачительных фабриках при состоянии равновесия // Глюкауф. – 1961. – № 17. – С. 1266–1273.
- 6.Leonard J.W. Coal Preparation. – Littleton, SME, Colorado, 1991. – 1132 p.