

Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

$$\gamma H > A_k \cos \theta + A_H \sin \theta, H / м^2 \quad (13)$$

Так как в камерных ГФП фильтрование ведется, как правило, в обе стороны, важно, чтобы при съеме осадок не примыкал к обеим фильтрующим перегородкам, а это обеспечивается при условии, что удельная сила когезии K осадка (в дальнейшем когезия осадка) значительно превышает его нормальную адгезию A_n к ткани. В противном случае вероятность съема будет сведена к минимуму, так как весь осадок будет разбит на две части и его масса G – уменьшится вдвое.

Список литературы

1. Брук О.Л. Фильтрование угольных суспензий, М.: "Недра", 1978. –376 стр.
2. Брук О.Л., Пейчев И.Д., Радущевич К.Л. Расчет оптимального давления фильтрования и некоторых конструктивных параметров фильтр-прессов. "Химическое и нефтяное машиностроение", 1979, № 7, с.15–16.
3. Жужиков В.А. Теория и практика разделения суспензий. 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Химия, 1980. 265 с.
4. Пейчев И.Д. Условия съема осадка из горизонтальных фильтр-прессов. "Уголь Украины", 1981, № 3, с. 40–41.

© Пейчев И.Д., 2005

*Надійшла до редколегії 26.04.2005 р.
Рекомендовано до публікації*

УДК 622.794

Е.И. НАЗИМКО, д-р техн. наук,

Е. Е. ГАРКОВЕНКО, канд. техн. наук

(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

ВЛИЯНИЕ ЗАКОНА РАПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ВДОЛЬ ПОРЫ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Решение задач повышения качества товарных концентратов при одновременном увеличении объемов обогащения угля неразрывно связано с переработкой и обезвоживанием мелких и тонких классов, количество которых в рядовом угле постоянно растет. Транспортабельность и стоимость таких продуктов зависит от их влажности, высокие значения которой снижают эффективность использования этих материалов.

161

Збагачення корисних копалин, 2005. – Вип. 22(63)

Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

В різних технологічних процесах багатьох галузей промисловості виникають проблеми при необхідності зниження вологості осадов тонкодисперсної структури. Відомо, що найбільші труднощі викликає обезвоживання тонких і малих частинок, т.к. осадки, сформовані з них, мають високорозвинуту поверхню, активно взаємодіючу з водою. Крім того, пористість і як наслідок проникність цих серед звичайно низька. Обезвоживання таких осадков може виконуватися в декількох стадіях. Частіше застосовують поєднання різних фізичних принципів видалення вологи, наприклад механічного і термічного обезвоживання.

При порівнянні цих принципів обезвоживання з позицій їх екологічної і вартісної оцінки перевагу надають як правило першому методу, особливо в випадках, коли не пред'являються жорсткі вимоги до вологості продукту, але досягнення його до транспортувального стану є необхідним. Особливо це стосується механічного обезвоживання тонких найбільш труднофільтруваних осадков.

Термічне обезвоживання використовується в основному для низькозольних малих і тонких концентратних продуктів. Хоча в останнє час в промисловості наметилася тенденція відмови від процесу флотації вугілля, не використовуваних для коксування, і відповідно від термічної сушки кеків. Для досягнення відходів флотації до необхідної і достатньої вологості застосовують фільтрування під надлишковим тиском в фільтр-пресах різних конструкцій. В зв'язі з вищесказаним пошук способів удосконалення найбільш дешевих механічних методів видалення вологи з осадков є актуальною задачею.

Основним елементарним процесом фільтрування є проходження рідини (води) через порове простір осаду. Роботи таких відомих дослідників як Дерягин Б.В. і його колегів, Бейліна М.І., Бочкова Ю.П., Бутовецького В.С., Клешина А.А., Майдукова Г.Л., Пейчева І.Д., Пілова П.І., Полуляха А.Д., Скрипова А.П. і багатьох інших присвячені інтенсифікації і дослідженню процесів механічного обезвоживання [2–6]. Ці роботи послужили основою для визначення кола параметрів, впливаючих на швидкість переміщення і видалення вологи з осадков, розвинули сучасну теорію фільтрації і показали в частині впливу особливостей будови осаду і його пористості.

Для поповнення уявлень про процеси, що відбуваються при переносі вологи в поровій середі осадков, необхідно продовжувати дослідження властивостей і структури осадков на мікроуровні.

Метою даної роботи є дослідження впливу закону розподілу проникності по довжині пори на тривалість перехідних процесів і аналіз рівняння переносу речовини в поровій середі тонких труднофільтруваних осадков.

Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

При використанні фільтрування під дією надлишкового тиску для тонких важкофільтруємих осадинок зі сторони подачі і накоплення осадинок діє надлишкове тиску, створюване насосами, а зі сторони фільтрувальної перегородки і фільтрувальної тканини – атмосферне.

Для моделювання і аналітичного дослідження складних процесів, що відбуваються в процесі переміщення вологи по порах осадинок, приймається ряд обмежень і допущень. Аналіз процесу фільтрування оснований на спрощеній передумові, що пориста перегородка і утворюючийся на ній шар осадинок, можуть бути представлені в формі системи тонких капілярних трубок. Через ці трубки під впливом перепаду тиску відбувається переміщення рідини в ламинарному режимі. Крім того, вважають, що рідина смачує поверхню твердої фази, і рухається по цій поверхні в формі плівки, що торкається поверхні твердої фази.

В початковій стадії фільтрування потік пульпи, що падає до фільтрувальної перегородки, зіткнувшись з отворами її капілярів або з поверхнею між капілярами, являючись непроникною. Тонкі частинки твердої фази, які не проходять через капіляри, притискаються до перегородки потоком пульпи і накопуються осадинок. Частинки, які мають розмір менше отвору капілярів і потрапили в них, проходять крізь фільтрувальну перегородку і уносяться з фільтратом. В результаті накоплення частинок у отворах капілярних трубок з течією часу утворюється куполоподібна ущільнена маса [5]. При цьому у основі концентруються частинки твердої фази, які мають найбільші розміри.

З течією процесу товщина осадинок зростає і збільшується кількість тонких частинок, які затрималися в шарі осадинок і накопились над капілярами в нижніх шарах осадинок. Це явище сприяє утворенню фільтрувальної системи, що складається не тільки з фільтрувальної перегородки, але і з шару осадинок, утвореного в початку фільтрування. Крім того, тонкі частинки, накопуючись в порах, змінюють пропускну здатність по довжині пори.

Умовно для аналізу переносу рідини в поровій середі осадинок прийнята одна сквозна пора, що пронизує осадинок по всій його товщині [7]. Розрахункова модель зображує пору в шарі осадинок, що розбита на кілька ділянок по довжині. Ділянки пронумеровані з першого по десятий. При цьому менші номери ділянок відповідають виходу з пори до фільтрувальної тканини (в атмосферу), а більші – входу в пору зі сторони подачі суспензії (надлишкове тиску).

Частинним випадком відомого диференціального рівняння переносу речовини в пористих середі при певних допущеннях, які викладені в роботі [8], є лінійне диференціальне рівняння виду:

Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

$$D \partial^2 P / \partial x^2 = \partial P / \partial t . \quad (1)$$

Здесь D – диффузионный фактор, P – давление, t – время.

Диффузионный фактор D , входящий в уравнение (1) определяется из соотношения:

$$D = C P / \mu m , \quad (2)$$

где C – проницаемость пористой среды; μ – вязкость; m – пористость.

Как следует из соотношения (2) диффузионный фактор D прямо пропорционален проницаемости, зависит от параметров пористой среды и приложенного давления.

Нестационарное дифференциальное уравнение (1) потока жидкости через пористый осадок, который имеет различные значения проницаемости по толщине осадка решено методом конечных разностей, что позволило исследовать процесс удаления влаги из осадка в неустановившемся режиме. При этом принято, что при подаче суспензии в рабочую камеру обезвоживающего аппарата исходная суспензия может рассматриваться как жидкая среда. В этом случае давление по всей толщине осадка допустимо считать одинаковым и равным единице.

Входные и выходные условия по краям поры заданы из следующих соображений.

В реальных аппаратах падение давления на выходе из осадка с учетом того факта, что жидкость имеет конечную вязкость, происходит не мгновенно, а по экспоненциальному закону в течение какого-то отрезка времени. На входе увеличение давления происходит аналогичным образом, но более медленными темпами из-за того, что скорость подачи суспензии, как правило, превышает скорость выведения жидкости. По мере фильтрования с течением времени t давление на выходе поры снижается по экспоненциальной зависимости до атмосферного, которое условно принято за ноль:

$$P(t) = \exp (- t / 20) . \quad (3)$$

На входе поры с нагнетательной стороны давление наоборот увеличивается от единицы по зависимости:

$$P(t) = 0.5 + 1 / (1 + \exp (-t / 30)) . \quad (4)$$

Дифференциальное нестационарное уравнение параболического типа (1) решено численным методом Кранка-Николсона, который используется для

Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

решения уравнений этого типа. Уравнение решалось на прямоугольной области для следующих начальных условий:

$$U(x, 0) = inif(x); \quad (5)$$

где x – координата по длине поры; $inif(x)$ – начальная функция.

Параметр x изменяется в следующем интервале:

$$0 \leq x \leq a. \quad (6)$$

Здесь 0 и a координаты входа и выхода из поры, соответственно.

Граничные условия заданы следующими:

$$U(0, t) = b_1(t); \quad (7)$$

$$U(a, t) = b_2(t). \quad (8)$$

Здесь t – время; b_1 , b_2 – функции от времени, имеющие форму (3) и (4), соответственно.

Для изменения времени задан интервал:

$$0 \leq t \leq b. \quad (9)$$

Здесь b – текущее значение времени.

При этих начальных и граничных условиях исследованы закономерности изменения давления по толщине осадка во времени от начала момента фильтрования.

Время моделирования изменялось в пределах от 20 до 200 с в зависимости от длительности переходного процесса. Толщина осадка принята равной 3 см, что соответствует реальным условиям фильтрования, происходящего в камере в фильтр-пресса.

Выполненный ранее анализ уравнения переноса вещества в пористой среде тонкодисперсных осадков позволил установить, что чем ниже проницаемость осадка и чем значительнее этот параметр уменьшается по длине поры, тем дольше длятся переходные процессы, тем медленнее стабилизируется градиент давления и в целом процесс удаления влаги [7].

Кроме того, в работе [9] приведены результаты моделирования, которые показали, что при высоких значениях проницаемости осадка стабилизация процесса переноса вещества происходит быстро. Однако при этом в средней части поры ближе к месту подачи суспензии возникают автоколебательные процессы, давление с течением времени изменяется скачкообразно и пора

Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

начинает работать как свисток. Ближе к выходу из поры автоколебательные процессы менее выражены. При этом величина избыточного давления снижается, несмотря на возникновение автоколебательных процессов. В целом скорость падения давления увеличивается.

В данной работе проведены исследования для проницаемости, изменяющейся по различным законам. Один из них представлял собой линейное изменение диффузионного фактора, связанного с проводимостью поровой среды, по зависимости:

$$D = 10^{-7} i , \quad (10)$$

где i – расстояние от выходного отверстия поры. Фактически представляет собой шаг по длине поры и может быть вычислено как $30 \text{ мм} / 10 \text{ участков} = 3 \text{ мм}$.

В соответствии с заданной линейной зависимостью параметр D прямо пропорционален расстоянию от выхода из поры, т.е. у места подачи (вход в пору) проводимость выше, чем у выхода, что связано с забиванием поры тонкими частицами по длине.

Другой закон распределения проводимости по длине поры – параметра D – задан более сложной пикообразной зависимостью:

$$D = 10^{-6} - abs(6 \cdot 10^{-7} - 10^{-7} \cdot i) . \quad (11)$$

График изменения проводимости поры в обоих случаях представлен на рис. 1. Интегральная пустотность поровой среды для случая изменения проводимости по линейному и пикообразному закону примерно одинакова, т.е. суммарная итоговая проводимость по всей длине поры может рассматриваться как проводимость эквивалентного отверстия.

Результаты моделирования при изменении проводимости поровой среды по линейному закону приведены на рис. 2, а по пикообразному (ломанная линия) – на рис. 3.

Проведенное моделирование с использованием компьютерной техники для численного решения уравнения (1) позволило заключить следующее.

Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

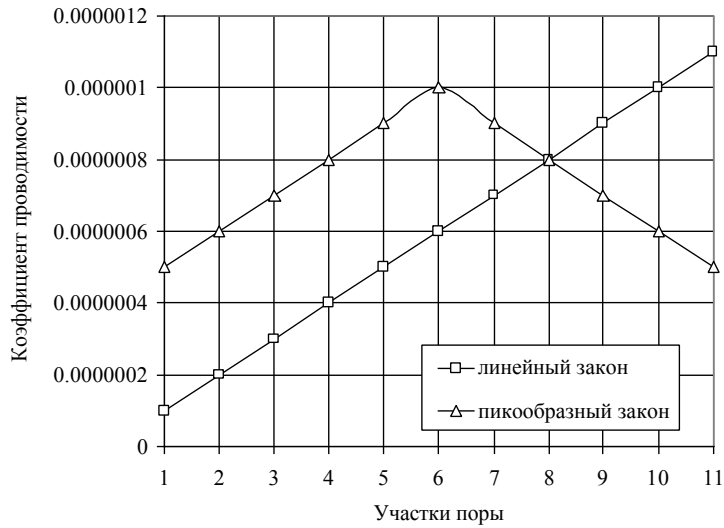


Рис. 1. Изменение коэффициента проходимости по длине поры по заданным линейному и пикообразному законам

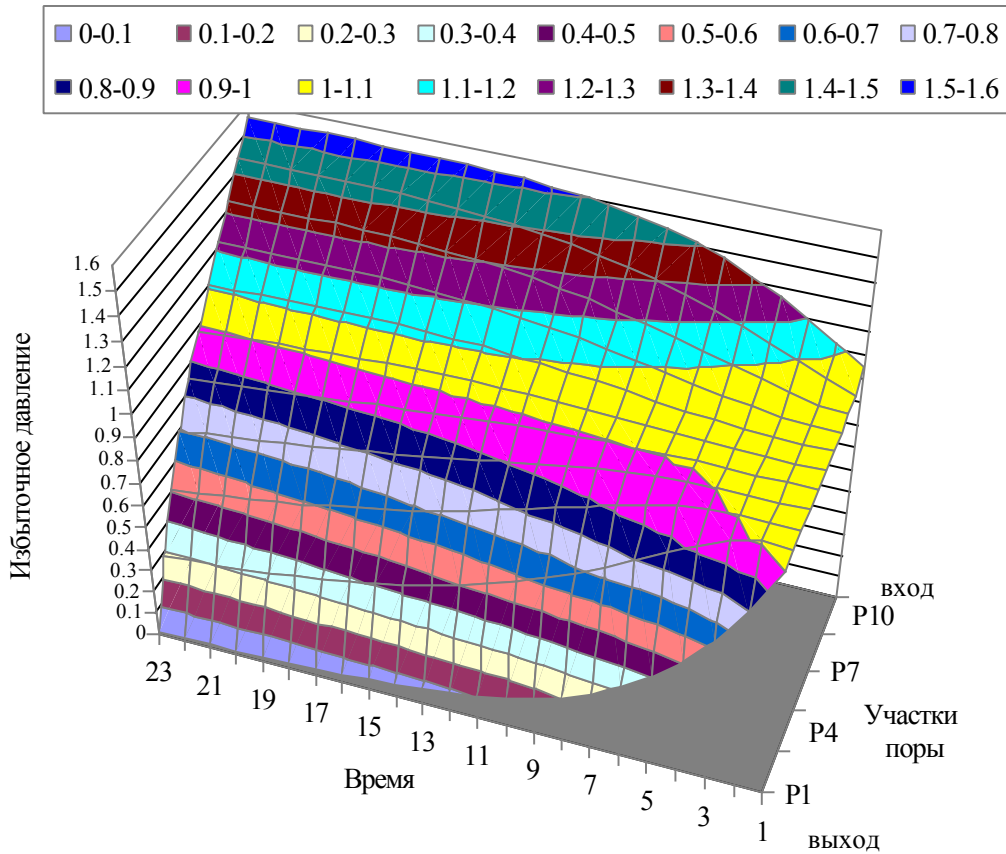


Рис. 2. Результаты моделирования для линейного закона изменения проходимости

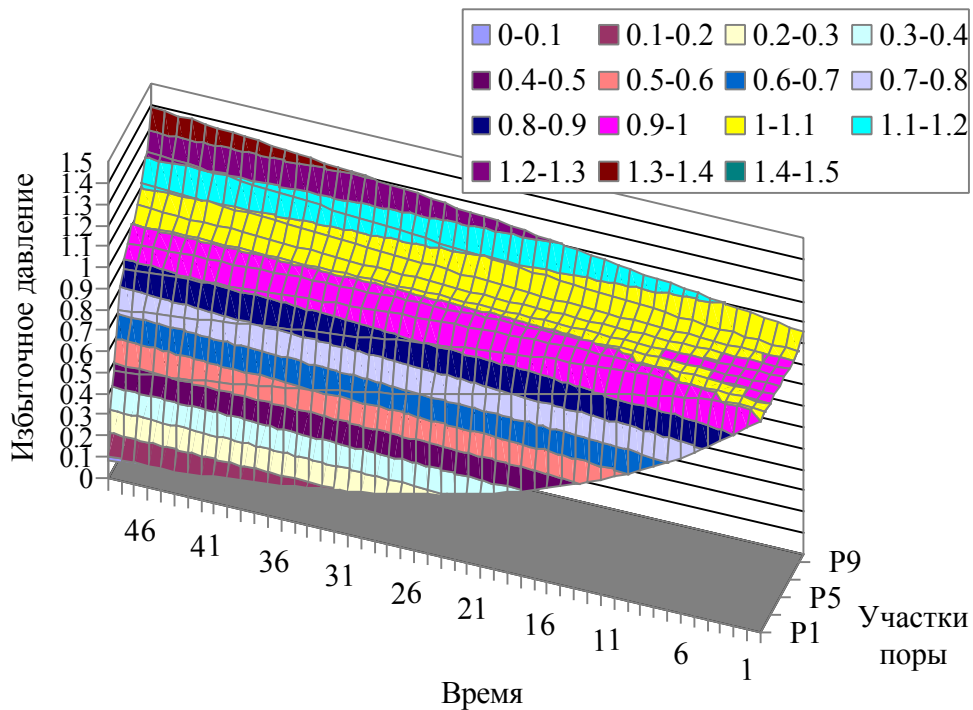


Рис. 3. Давление по длине поры на различных участках поры при задании пикообразного закона изменения проводимости

По сравнению с высокой проводимостью поры, когда переходные процессы заканчиваются примерно за 9–10 с [9], стабилизация происходит не так быстро. С начала процесса переноса вещества прошло 23 с, но линия падения давления по длине поры (участки 1–10) еще изогнута и имеет выпуклость в средней части поры (см. рис. 2). Однако, автоколебательные процессы отсутствуют, они наблюдаются только при высокой проводимости по всей длине поры. В начальный момент времени (от 1 до 3 с) практически по всей длине поры избыточное давление имеет значение в интервале 1–1.1 плюс атмосферное. В средней части поры на участке 6 такое значение избыточного давления сохраняется на протяжении всей длительности переходных процессов. В сторону входа в пору (участки 7–11) значение избыточного давления увеличивается с одновременным увеличением его с течением времени. В сторону выхода из поры (участки 5–1) происходит снижение значения этого параметра с течением времени и по длине поры.

При нелинейном пикообразном законе (ломанная линия на рис. 1) изменения проводимости по длине поры результаты моделирования

Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

свидетельствуют о том, что в начальный период времени (от 1 до 9 с) в средней части поры избыточное давление составляет 0.9–1, а на входе и выходе из поры – 1–1.1. Затем с течением времени давление в средней части поры остается постоянным, более низким по сравнению с таковым при линейном законе изменения проводимости. Давление на входе в пору увеличивается, а на выходе падает. Однако, длительность переходных процессов возрастает почти в два раза по сравнению с монотонным (линейным) законом.

Проведенное моделирование позволяет заключить, что при более сложном законе изменения проницаемости по длине поры возникают переходные процессы и значительное (на порядок) 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 в осадке, раскрытию тупиковых пор и ловушек, очищению пор от тонких частиц. Одним из таких способов может быть наложение сдвиговых деформаций на осадок в определенные моменты времени.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение изменения структуры осадков при наложении динамических воздействий.

Список литературы

1. **Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Овчаренко Ф.Д.** Вода в дисперсных системах. – М.: Химия. – 1989. – 288 с.
2. **Клешнин А.А., Гончаренко Е.А.** Исследование проницаемости фильтровальных осадков // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2000. – Вип. 9(50). – С. 68–73.
3. **Пейчев И.Д.** Исследование теоретических закономерностей течения жидкости через пористую среду // Обогащение полезных ископаемых. Днепропетровск. – 2004. – Вып. 20 (61). – С. 99–104.
4. **Полулях А.Д., Гончаренко Е.А., Кочетов Ю.В.** Определение границ применимости закона Дарси для зернистых сред // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2000. – Вип. 10 (51). – С. 81–87.
5. **Жужиков В.А.** Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий. – М.: Химия. – 1980. – 412 с.
6. **Майдуков Г.Л.** Технология фильтрования продуктов обогащения углей. – М.: Недра. – 1975. – 142 с.
7. **Гарковенко Е.Е.** Анализ уравнения переноса вещества в пористой среде тонкодисперсных осадков // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. – 2003. – Вип.7. – С 49–55.
8. **Гарковенко Е.Е., Назимко Е.И., Самойлов А.И., Папушин Ю.Л.** Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов. Донецк: Норд-Пресс. – 2002. – 266 с.
9. **Назимко О.И., Гарковенко Є.Є., Морозова В.Г.** Аналітичне дослідження впливу проникності осадів на переміщення речовини в порах // Обогащение полезных ископаемых. Днепропетровск. – 2004. – Вып. 20(61). – С. 83–88.