

Е.И. Назимко, д-р техн. наук

Е. Е. Гарковенко, канд. техн. наук

К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВЛАГИ В ПОРАХ ОСАДКОВ ПРИ ИХ ПЕРЕМЕННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Виконано аналіз рівняння переносу речовини в поровому середовищі стосовно тонких осадків, що важко фільтруються. Встановлено, що при коливанні значень дифузійного фактору по довжині пори перехідні процеси мають певну тривалість та вплив на видалення вологи. Показано, що процес переносу речовини вздовж пори стабілізується з достатньою швидкістю.

Ключові слова: пори, фільтрування, рівняння, перенос речовини, перехідні процеси.

Выполнен анализ уравнения переноса вещества в поровой среде тонких труднофильтруемых осадков. Установлено, что при переменных значениях диффузионного фактора по длине поры в поре возникают переходные процессы, имеющие определенную длительность и влияние на удаление влаги. Показано, что процесс переноса вещества по поре стабилизируется с достаточной скоростью.

Ключевые слова: поровая среда, фильтрование, уравнение, перенос вещества, переходные процессы.

Процеси обезвоживання знаходяться багато років під пристальним увагою дослідників різних країн. Особливу увагу привертає механічне обезвоживання тонких найбільш труднофільтруємих осадків. Це пов'язано, во-перших, з тим, що механічне впливання на такі матеріали є найбільш дешевим способом видалення вологи і доведення осадків до транспортабельного стану. І, во-вторых, з підвищенням вимог до охорони навколишнього середовища, до обмеження використання такого дорогоцінного процесу як термічне обезвоживання, яке пов'язано з використанням сушильних агрегатів і со значительними викидами в атмосферу шкідливих газів і пилу. Термічне обезвоживання використовується для низькозольних дрібних і тонких концентратних продуктів. Для доведення відходів флотации до необхідної і достаточної вологості в останнє час все ширше застосовують фільтрування під надмірним тиском в фільтр-пресах різних конструкцій. В зв'язі з вищесказаним пошук способів удосконалення найбільш дешевих механічних методів видалення вологи з осадків є актуальною задачею.

Основною елементарною процесу фільтрування є проходження рідини (води) через порове простір осадку. При цьому протікають не тільки гідродинамічні процеси, але і складне взаємодія капілярних і електростатических сил. Крім того, дослідженнями встановлено, що вода в дисперсних системах набуває нові властивості, відмінні від властивостей води в об'ємі [1].

В соответствии со сказанным выше, исследования отечественных и зарубежных авторов имеют целью повышение эффективности именно механического обезвоживания. Работы таких известных исследователей как Дерягина Б.В. и его сотрудников, Бейлина М.И., Борца М.А., Бочкова Ю.П., Бутовецкого В.С., Каминского В.С., Карягиной Н.В., Клешнина А.А., Коткина А.М., Майдукова Г.Л., Пилова П.И., Полуляха А.Д., Скрипова А.П. и многих других посвящены интенсификации и исследованию процессов обезвоживания [2-6]. Эти работы развили современную теорию фильтрации и послужили основой для определения круга параметров, влияющих на скорость перемещения и удаления влаги из осадков, и показали в частности влияние особенностей строения осадка и его пористости. В ходе исследований принимался ряд допущений и ограничений, задавались определенные граничные условия.

Тем не менее, существует определенный комплекс проблем, связанных со свойствами такой довольно сложной для математического описания структуры как пористая среда осадков и ее проницаемость, которая определяет скорость удаления влаги. Значительные трудности возникают при обезвоживании осадков, образованных тонкодисперсными частицами, имеющими высокоразвитую поверхность. Эти трудности усугубляются особыми свойствами воды, связанной в твердой поверхности, действием капиллярных и молекулярных сил, наличием сети разветвленных и тупиковых капилляров.

Известно, что процесс удаления жидкости зависит от перепада давлений, приложенных с обеих сторон фильтровальной перегородки, от структуры и сопротивления осадка, капиллярных явлений и многих других параметров. Для пополнения представлений о процессах, происходящих при переносе влаги в поровой среде осадков, необходимо продолжать исследования свойств и структуры осадков на микроуровне.

Целью данной работы является анализ уравнения переноса вещества в поровой среде тонких труднофильтруемых осадков при переменном значении сопротивления перемещению жидкой фазы по длине поры.

Для тонких труднофильтруемых осадков при механическом обезвоживании чаще используется фильтрование под действием избыточного давления. При таком способе механического обезвоживания со стороны подачи и накопления осадка действует избыточное давление, создаваемое насосами, а со стороны фильтровальной перегородки и фильтровальной ткани – атмосферное.

Для моделирования и аналитического исследования сложных процессов, происходящих в процессе перемещения влаги по порам осадка, принимается ряд ограничений и допущений. Анализ процесса фильтрования основан на упрощенной предпосылке, что пористая перегородка и образующийся на ней слой осадка, могут быть представлены в виде системы тонких капиллярных трубок. Через эти трубки под влиянием перепада давления происходит перемещение жидкости в ламинарном режиме. Кроме того, считают, что жидкость смачивает поверхность твердой фазы, и движется по этой поверхности в виде пленки, касающейся поверхности твердой фазы.

Однако, в реальных условиях в поровой среде протекают более сложные процессы, что связано с наличием тупиковых или изолированных пор.

В начальной стадии фильтрования поток пульпы, попадающий к фильтровальной перегородке, сталкивается с устьями ее капилляров или с поверхностью между капиллярами, являющейся непроницаемой. Тонкие частицы твердой фазы, которые не проходят через капилляры, прижимаются к перегородке потоком пульпы и накапливающимся осадком. Частицы, имеющие размер менее устья капилляров и попавшие в них, проходят сквозь фильтрующую перегородку и уносятся с фильтратом. В результате накопления частиц у устьев капиллярных трубок с течением времени образуется куполообразная уплотненная масса [5]. При этом у основания концентрируются частицы твердой фазы, имеющие наибольшие размеры.

С течением процесса толщина осадка возрастает и увеличивается количество тонких частиц, которые задержались в слое осадка и накопились над капиллярами в нижних слоях осадка. Это явление способствует образованию фильтрующей системы, состоящей не только из фильтровальной перегородки, но и из слоя осадка, образовавшегося в начале фильтрования. Кроме того, тонкие частицы, накапливаясь в порах, изменяют пропускную способность по длине поры.

Условно для анализа переноса жидкости в поровой среде осадка принята одна сквозная пора, пронизывающая осадок по всей его толщине. Расчетная модель приведена в виде схематичного изображения на рис. 1. При аналитическом исследовании по длине поры (толщине осадка) было принято несколько участков. Участки пронумерованы с первого по десятый.

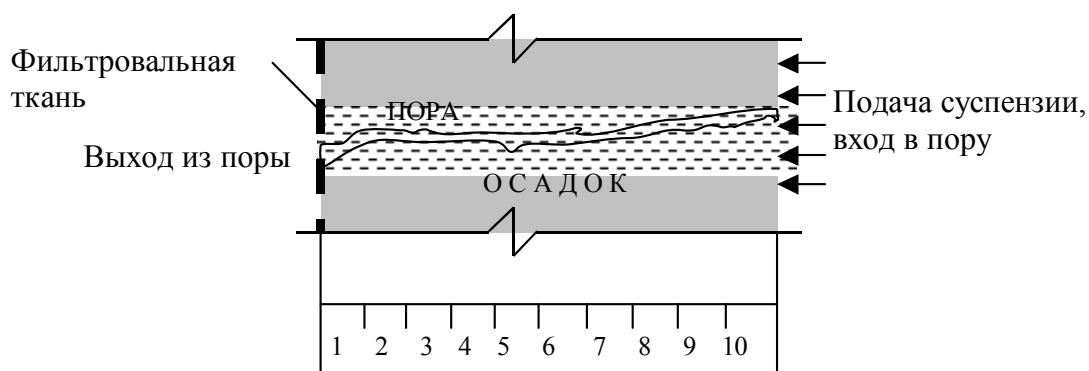


Рисунок 1 – Схематичное изображение поры в осадке при моделировании

Частным случаем известного дифференциального уравнения переноса вещества в пористых средах при определенных допущениях, подробно изложенных в работе [7], является линейное дифференциальное уравнение вида:

$$D \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = \frac{\partial P}{\partial t} . \quad (1)$$

Коэффициент D , входящий в уравнение (1), является диффузионным фактором и определяется из соотношения:

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

где C – проницаемость пористой среды; P – давление; μ – вязкость; t – пористость.

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

Для исследования процесса удаления влаги из осадка в неустановившемся режиме методом конечных разностей решено нестационарное дифференциальное уравнение (1) потока жидкости через пористый осадок, который имеет переменную проницаемость по длине поры, т.е. по толщине осадка. При этом принято, что при подаче суспензии в рабочую камеру обезвоживающего аппарата (например, фильтр-пресса) исходная суспензия может рассматриваться как жидкая среда. В этом случае давление по всей толщине осадка допустимо считать одинаковым и равным единице.

Толщина исследуемого фрагмента осадка принята равной 30 мм, что соответствует реальным условиям, существующим в камерных фильтр-прессах. По длине поры, находящейся в толще осадка, с определенным шагом выделено несколько участков.

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 [8] 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 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 с течением времени. В соответствии с реальным процессом накопления тонких частиц по длине поры, описанным в начале статьи и имеющем место при фильтровании, диффузионный фактор на каждом участке поры изменялся в сторону уменьшения с течением времени. Таким образом вычисления производились для каждого участка и каждого значения диффузионного фактора, соответствующего непостоянной проницаемости при забивании поры. Результаты моделирования приведены на рис. 2 и 3.

При этом следует отметить, что изменение проницаемости с течением

времени задавалось в соответствии с данными, представленными в таблице.

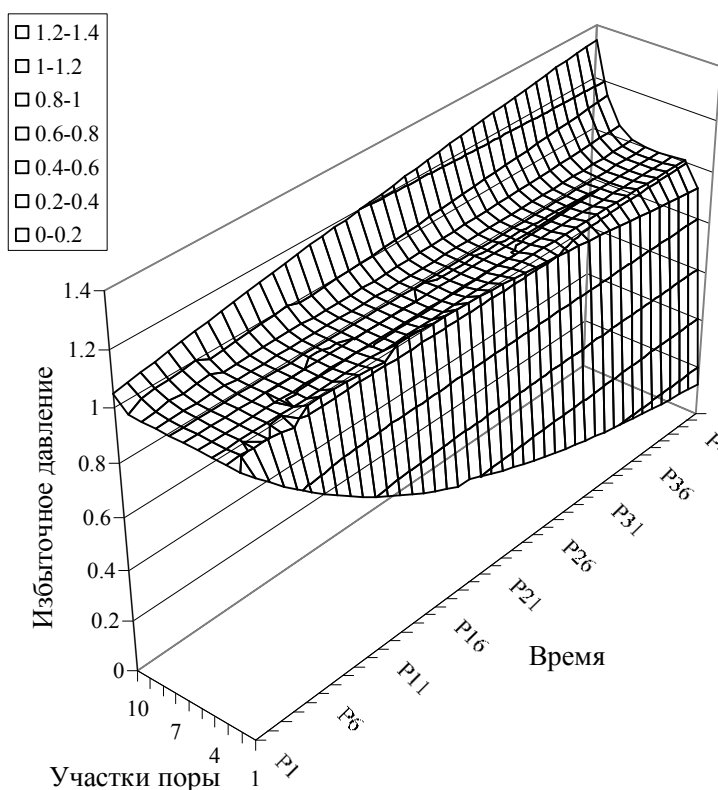


Рисунок 2 – Изменение давления по длине поры при разных значениях проницаемости с течением времени

Интервал изменения времени	Зависимость для определения диффузионного фактора
1-3	$D_1 = i * 10^{-6}$
4-6	$D_2 = i * 5 * 10^{-7}$
7-13	$D_3 = i * 10^{-7}$
14-41	$D_4 = i * 5 * 10^{-8}$

Из приведенных данных следует, что параметр D_1 является максимальным, $D_2 = 0.5D_1$, $D_3 = 0.1D_1$, D_4 имеет минимальное значение и определяется как $D_4 = 0.05D_1$.

Как уже было отмечено выше, с течением времени происходит заполнение поры в слое осадка тонкими частицами, ее проницаемость снижается примерно в 20 раз. Однако, в средней части поры (участки поры 4, 5, 6 на рис. 3) избыточное давление практически не изменяется, мало реагируя на процесс снижения проницаемости. Здесь избыточное давление остается в пределах единицы. На участке 8, находящемся близко ко входу в пору, давление

увеличивается более резко, чем на участке 7, где так же еще наблюдается незначительный подъем избыточного давления. На участке 3, находящемся ближе к выходу из поры после некоторого повышения значений давления начинается его снижение. Наиболее выражены колебания давления на участке 2, находящемся у выхода из поры. Здесь при снижении диффузионного фактора наблюдается повышение значений избыточного давления практически в противофазе к участку 8, находящемуся у входа в пору (см. интервал времени 5-14 на рис. 3). Пора на участке 2 забивается тонкими частицами и возникает повышение давления в этот момент времени. Затем по прошествии некоторого интервала времени пора все-таки освобождается от тонких частиц, которые уносятся с фильтратом, и давление падает (интервал времени 20-40 на рис. 3).

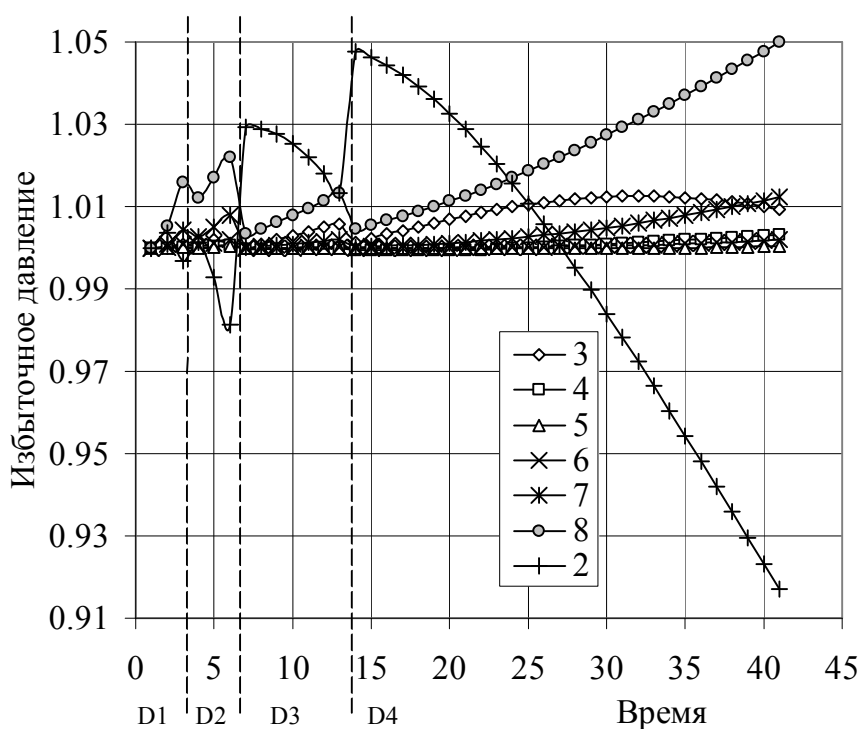


Рисунок 3 – Перепады значений давления в пору в различные моменты времени при снижении ее проницаемости

Проведенное моделирование позволяет заключить, что при изменении проницаемости по длине поры, что имеет место в реальных процессах механического обезвоживания, в пору 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 перегруппированию. 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. **Бейлин М.И.** Теоретические основы процессов обезвоживания углей. – М.: Недра. – 1969. – 240 с.
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. **Назимко О.І., Гарковенко Є.Є., Морозова В.Г.** Аналітичне дослідження впливу проникності осадів на переміщення речовини в порах // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2004. – Вип. 20(61). – С. 83-88.

*Поступила в редколлегию 20.11.2004 г.
Рекомендована к публикации д.т.н. П.И. Пиловым*