

Е.И. Назимко, Б.А. Блюсс, докт. техн наук,
Е.Е. Гарковенко, Е.В. Семенов, канд. техн. наук

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ОСАДКОВ

Наибольшие трудности при удалении влаги из углей связаны с мелкими и тонкими зернами. Наиболее дешевыми и доступными методами снижения влажности таких продуктов являются механические методы. Одним из способов повышения скорости обезвоживания может быть приложение сдвиговых деформаций к осадку.

При обезвоживании мелких и тонких осадков возникают наибольшие технологические трудности, т.к. такие материалы имеют высокоразвитую поверхность, активно взаимодействующую с водой. Кроме того, пористость и соответственно проницаемость этих сред как правило низкая. Обезвоживание таких осадков обычно выполняется в несколько стадий, чаще это сочетание механического обезвоживания и термического. Последний процесс требует значительных энергетических затрат и является наиболее дорогостоящим и невыгодным с точки зрения экологической безопасности. Поэтому внимание многих авторов направлено на совершенствование первой стадии обезвоживания – различных механических методов, одним из которых является фильтрование, с целью снижения влажности его продуктов и затрат на последующую сушку.

Таким образом, поставленная задача поиска интенсификации методов механического обезвоживания тонкодисперсных осадков является актуальной.

При обезвоживании мелких и тонких осадков в поровой среде протекают довольно сложные процессы, связанные с взаимодействием твердой, жидкой и газообразной фаз. Работы многих отечественных и зарубежных исследователей посвящены изучению истечения жидкости и повышению скорости процесса фильтрования [1-7]. В частности, установлены зависимости скорости фильтрации от свойств поровой структуры осадка, представляющие основу современной теории фильтрации. Теоретические и экспериментальные исследования влияния гранулометрического состава шламов на структурную характеристику порового пространства осадка и его проницаемость позволили исследовать изменение режима течения фильтрата в осадке. Кроме того, исследованиями было установлено сложное влияние газообразной фазы на процесс истечения жидкости. Было показано, что воздух, адсорбируясь на поверхности частиц, может находиться в каналах довольно долго, вызывая закупорку узких извилистых каналов в осадке. И эта закупорка более устойчива, чем мелкими частицами неправильной формы.

Изучение свойств осадков на микроуровне свидетельствует о необходимости продолжения исследований в этом направлении для более

глубокого понимания сложных явлений, протекающих в этой среде.

Целью данной работы является определение свойств осадков на микроуровне, которые могут быть использованы при повышении скорости удаления влаги из них при механическом обезвоживании.

Поскольку процесс фильтрования имеет две основные фазы – собственно фильтрование и просушку осадка, когда в порах осадка происходит перемещение не только жидкой, но и газообразной фазы, особый интерес представляет исследование поведения этих фаз в каналах пористой среды. Это связано с тем, что именно сеть открытых каналов в осадке является магистралью для удаления влаги. Такое исследование позволит определить пути совершенствования процесса фильтрования.

Следует отметить, что именно переходная область от насыщенного влагой осадка до частично насыщенного, является наиболее интересной для изучения, т.к. здесь происходят главные обменные процессы, а также фазовые изменения многокомпонентной среды. Эти процессы являются сложными и характеризуются ярко выраженной неравновесностью и необратимостью.

Течение жидкости в капиллярах возможно только при условии, что хотя бы часть пор сообщается друг с другом, образуя проницаемые для жидкости капилляры. Необходимо определить предпосылки создания модели, достоверно отражающей свойства порового пространства, являющегося магистралью для удаления влаги, способы моделирования нестационарной фильтрации жидкости через поровую среду осадка, что позволит выявить пути совершенствования процесса.

Для теоретического исследования и моделирования сложных процессов, протекающих при фильтровании осадков, принимают определенные допущения [4, 8]: 1) жидкость смачивает поверхность частиц твердой фазы осадка; 2) смачивающая жидкость движется в виде пленки, которая соприкасается с твердой поверхностью; 3) воздух движется по центральной части порового канала и с твердой фазой не соприкасается. Однако, в реальных условиях в поровой среде осадка протекают более сложные процессы. Это связано с тем, что часть влаги удерживается капиллярными силами в тонких порах или в порах, не связанных с другими (изолированных). Величина капиллярных сил зависит от кривизны поверхности раздела жидкой и газообразной фаз. Капиллярность является весьма важным понятием при изучении течения жидкости в поровой среде. Обычно исследователи представляют капиллярность как функцию фазового насыщения поровой среды. Но эта функция неоднозначна, что вызывает трудности при попытках применить ее для конкретных вычислений.

Различными исследователями разработаны разнообразные модели поровой среды [7, 9, 10]. Классическая схема истечения жидкости из осадка [1], которая предполагает удаление влаги по каналам в осадке под действием перепада давлений, имеет место лишь в первые мгновения процесса фильтрования, т.к. в осадке не существует сплошных сквозных каналов для истечения фильтрата. Кроме того, у входа в капилляры фильтровальной

ткани задерживаются крупные частицы, образуя скопления, [4] в сводчатой части этих скоплений задерживаются тонкие частицы. При уплотнении осадка на фильтровальной ткани с течением времени снижается его проницаемость.

Кроме того, сами поры фильтровальной ткани засоряются солями жесткости, тонкими частицами твердой фазы, реагентами и т.п. Пропускная способность пор уменьшается, что способствует увеличению сопротивления фильтровальной ткани. При моделировании эти параметры также могут учитываться.

В модели можно задавать необходимый гранулометрический состав твердой фазы и укладку зерен (кубическую или гексагональную), что позволяет моделировать различную проницаемость осадка.

В зависимости от первоначального состояния осадка на поверхности фильтровальной ткани можно получить разные показатели его нормальных деформаций. Варианты состояний осадка показаны на рис. 1.

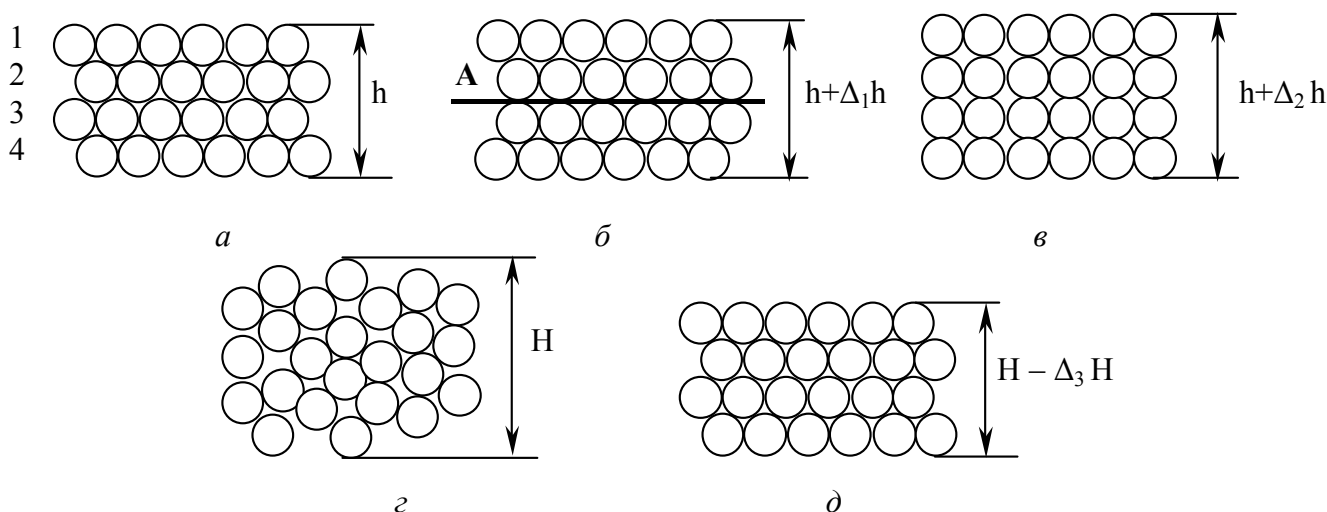


Рис. 1. Влияние первоначального состояния (упаковки частиц) осадка на изменение его вертикальных размеров: *а* – гексагональная упаковка; *б* – сдвиг в одной плоскости; *в* – кубическая упаковка; *г* – недоконсолидированный осадок; *д* – переконсолидированный осадок

На рис. 1 в позиции *а* показан вариант гексагональной упаковки осадка. При этом сферические частицы расположены плотно в слоях 1-4, осадок переконсолидированный, имеет наименьшую пористость и высоту h . При приложении сдвига, который происходит в плоскости А, к такому осадку свое расположение на кубическую упаковку изменяют только слои частиц 2 и 3. В этом случае пористость осадка несколько увеличивается (см. рис. 1, *б*). Высота осадка увеличивается на величину $\Delta_1 h$. Такие условия выполняются при использовании стандартного срезающего устройства.

В том случае, когда создаются условия, обеспечивающие перемещение всех слоев частиц относительно их первоначального состояния и расположения центров тяжести частиц таким образом, который

соответствует кубической упаковке, высота осадка повышается. Величина этого повышения имеет значение $\Delta_2 h$. При этом выполняется условие разрыхления осадка, т.к. $\Delta_2 h > \Delta_1 h$.

При образовании слоя осадка на фильтровальной ткани в фильтрующем устройстве, вне зависимости от того это вакуум-фильтр (дисковый или ленточный) или фильтр-пресс, формирование его происходит из суспензии, т.к. именно в таком виде поступает питание в эти аппараты. Поэтому осадок в первичном состоянии является недоконсолидированным, условно его вид показан на рис. 1, з, и имеет высоту H .

Если активизировать объемный сдвиг в таком состоянии осадка, то осадок может изменить свое состояние на переконсолидированное, которое показано на рис. 1, д. При этом высота осадка уменьшится и будет иметь значение $\Delta_3 H$, каналы между частицами будут иметь минимальные сечения как при гексагональной упаковке (рис. 1, а). В таком случае не будет достигнута цель, с которой создаются сдвиговые деформации в осадке, т.к. не произойдет увеличение сечения каналов в осадке между частицами и скорость удаления влаги не повысится.

Как следует из приведенных рассуждений и рис. 1, некоторое разуплотнение осадка при наложении сдвиговых деформаций может быть получено только при создании условий для объемного сдвига и при переконсолидированном состоянии осадка. В этом случае будет достигнуто уменьшение пористости недоконсолидированного осадка.

Для обеспечения достижения осадком переконсолидированного состояния на фильтровальной ткани или сетке необходимы некоторые условия: перепад давления, время и определенное содержание влаги в осадке. Только после этого наложение сдвиговых динамических полей может дать определенный эффект повышения его пористости и как следствие – повышение скорости удаления влаги по капиллярным каналам между отдельными частицами и между агрегатами, образующимися в осадке. Это будет способствовать достижению уменьшения конечной влажности осадков.

Для моделирования принято исходное состояние модели, приведенное на рис. 2.

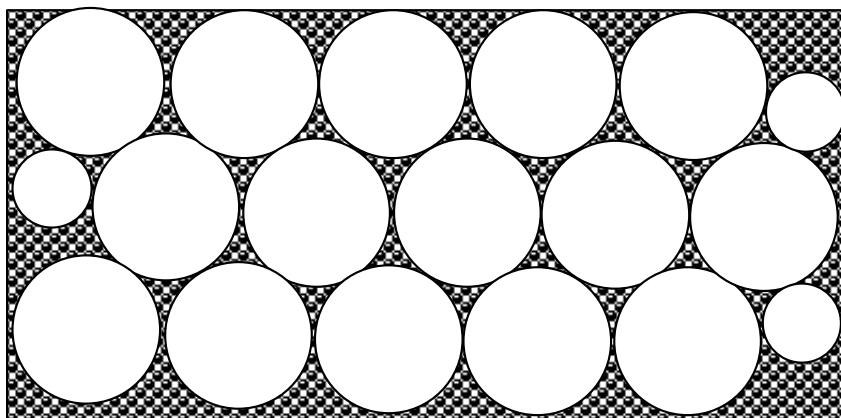


Рис. 2. Исходное состояние модели

В модели между сферическими угольными зернами находятся кластеры молекул воды в количестве 2000 элементов и наиболее тонкие частицы, попадающие в процессе фильтрования в фильтрат. Осадок является переконсолидированным.

В модели подобраны коэффициенты трения, вязкостного сопротивления и другие параметры с учетом свойств осадка угольного концентрата, образующегося на фильтровальной ткани.

В процессе численного моделирования вакуумного фильтрования угольного шлама определялось изменение координат центра тяжести каждого из элементов, представляющих жидкость, а также скорость его перемещения в различных направлениях. Полученные данные обрабатывались специальной программой. Эта программа позволяет на условном графическом изображении модели выделить разными цветами участки в зависимости от направления их перемещения. Участки, имеющие одинаковое направление перемещения, выделены одним и тем же цветом. Также графически показывается направление и величина скорости перемещения. Результаты обработки данных в графической форме показаны на рис. 3.

Отдельные точки на рисунке представляют собой группы элементов, моделирующих жидкость. Отходящие от точек линии по величине и направлению соответствуют перемещениям центров тяжести элементов. Цветом выделены следующие направления перемещения: вверх влево, вверх вправо, вниз влево, вниз вправо. Для обеспечения эффективного обезвоживания особое значение имеют последние два случая перемещения.

Анализ графических изображений модели в различные моменты времени свидетельствует о том, что в процессе истечения жидкости под действием разрежения в поровой среде осадка образуются каналы, являющиеся основными магистралями для удаления значительной части влаги. Это подтверждает сделанный ранее вывод об удельном весе этих каналов в поровой среде [11]. Около 95% всей удаляемой жидкости перемещается через эти каналы, при том, что их объем не превышает несколько процентов от общего объема фильтруемой среды.

Кроме того, из сравнения моментов *a*, *b* и *c* следует, что в жидкости формируются условно называемые кластерами участки с общим направлением перемещения элементов. При этом в различные моменты времени происходит переформирование или перестройка кластеров – одни кластеры исчезают, на их месте появляются другие с иным преимущественным направлением перемещения. В то же время на другом участке модели происходят аналогичные процессы. На некоторых этапах течения процесса обезвоживания возникает движение жидкости вбок или вверх, что в стесненных условиях поровой среды осадка вызывает «заклинивание» влаги и образование связанных жидкостных «пробок». При переформировании структуры осадка происходит изменение сети каналов в объеме осадка, тупиковые каналы становятся проводящими, и влага может удаляться более полно.

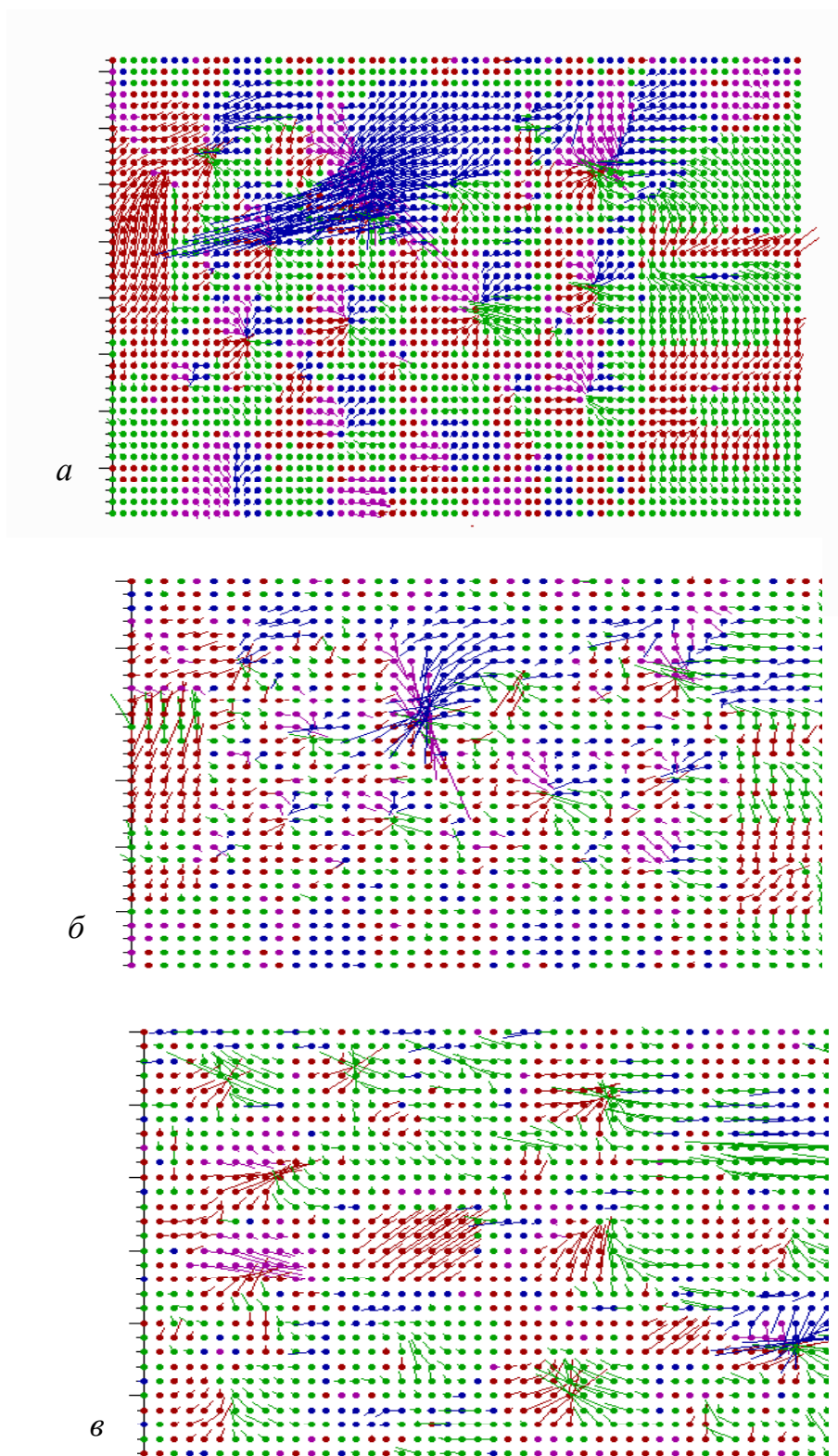


Рис. 3. Перемещение кластеров жидкости в различные моменты времени: а – 0.8, б - 2, в – 3.2 с

Таким образом, из выполненного численного моделирования следует, что удаление жидкости из поровой среды осадка происходит как бы

поочередно, с образованием кластеров – на одних участках влага удаляется относительно свободно, на других в этот же момент времени она задерживается в тупиковых каналах.

Для повышения эффективности обезвоживания необходимо динамическое воздействие на осадок, ускоряющее процесс переформирования кластеров, например, путем наложения сдвиговых полей. При этом перед наложением сдвиговых деформаций с целью повышения пористости осадка, он должен находиться в переконсолидированном состоянии.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на определение параметров при наложении сдвиговых полей.

Моделирование и исследование сложных процессов взаимодействия фаз при обезвоживании углей при различных способах воздействия на них позволяет определить пути повышения эффективности использования шламов в горно-металлургическом комплексе промышленности.

Список литературы

1. Жужиков В.А. Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий. – М.: Химия. – 1980. – 412 с.
2. Пейчев И.Д. Исследование теоретических закономерностей течения жидкости через пористую среду // Обогащение полезных ископаемых. Днепропетровск. – 2004. – Вып. 20 (61). – С. 99-104.
3. Блюсс Б.А., Семенов Е.В., Шурыгин В.Д. Расчет областей миграции частиц полидисперсного разноплотностного материала по сечению трубопровода при напорном гидротранспорте // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. - 2005. – Вип. 22(63) – С. 115-121.
4. Клешнин А.А., Гончаренко Е.А. Исследование проницаемости фильтровальных осадков // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2000. – Вип. 9(50). – С. 68-73.
5. 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.
6. Bryant S., King P. R., Mellor D. W. Network model evaluation of permeability and spatial correlation in a real random sphere packing. *Transport in Porous Media*, 11, 1993. – p. 53–70.
7. Fat I. The network model of porous media (in three parts). *Trans. AIME.*, 1956. - p. 144–181.
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. Jerauld G. R., Salter S. J. The effect of pore-structure on hysteresis in relative permeability and capillary pressure: pore level modeling. *Transport in Porous Media*, 5, 1990. – p. 103–151.
10. Yang G., Myer L. R. Object-Oriented Analysis of Network Flows at Por and Reservoir Scales. *ISRM International Symposium 36th U.S. Rock Mechanics Symposium June 29 – July 2, 1997. New York.*
11. Е.И. Назимко, Е.Е. Гарковенко Микроструктура кека флотоконцентрата и ее роль в процессах обезвоживания // Збагачення корисних копалин. - 2000. - №9 (50). - С. 93-98.