

пространства закрытых шахт на дневную поверхность в пределах геодинамических зон.

Список литературы

1. Защита зданий от проникновения метана / Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 2001. – 61 с.
2. Воевода Б.И. Геодинамика и ее экологические проявления / [Воевода Б.И., Соболев Е.Г., Русанов А.Н., Савченко О.В.] // Наукові праці ДонДТУ: Серія гірничо-геологічна. Вип.. 23. – Донецьк, ДонДТУ, 2001. – С. 3-10.
3. Гринев В.Г. Исследования процесса миграции метана из выработанного пространства закрытых шахт / [Гринев В.Г., Сергиенко А.И., Подрухин А.А.] // Сб: Физико-технические проблемы горного производства, ИФГП НАНУ, №12 Донецк, 2009. – С. 74-79.
4. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в MathCAD. Учебный курс / Макаров Е.Г. // СПРб.: Питер, 2005. – 448 с.

УДК 622.794.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ОСАДКОВ НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ВЛАГИ В ПОРАХ

*Е.И. Назимко, В.Г. Науменко, Государственный ВУЗ
«Донецкий национальный технический университет», Украина*

Приведены результаты исследования влияния проницаемости осадков на перемещение влаги в порах. Показано, что потери напора проявляются неоднозначно по длине поры и с течением времени в зависимости от величины диффузионного фактора.

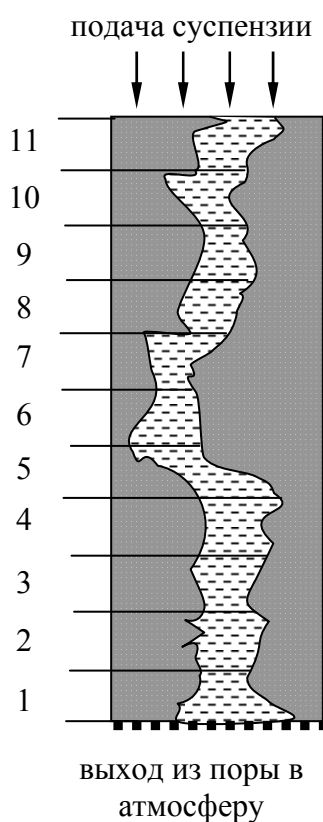


Рис. 1. Схема единичной поры в слое осадка

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Известно, что продукты шламовой крупности удерживают наибольшее количество влаги по сравнению с другими продуктами технологической цепочки обогащения. Это связано с высокоразвитой поверхностью мелких и тонких материалов и специфическими свойствами тонких водных пленок [1, 2]. Поэтому исследование сложных процессов, протекающих в сети капилляров в осадке продолжает оставаться актуальной научно-технической задачей. При этом возникает необходимость решения новых теоретических и практических вопросов.

Анализ исследований и публикаций. Такие параметры как градиент давления, сопротивление осадка, капиллярные явления, микроструктура порового пространства, форма и размер частиц, пористость, удельная поверхность и др. определяют скорость прохождения воды в пористом теле осадка. Исследование сложных процессов перемещения влаги в осадках сопряжено с определенными трудностями. Поэтому принимают некоторые упрощения и допущения. Наибольшее распространение получила модель, которая изображает поровую среду как развитую сеть каналов и расширений [3]. Такую сеть можно считать неполным ориентированным мультиграфом [4]. При этом вершины графа соответствуют отдельным порам. При исследовании процессов, происходящих в объеме осадка в ходе удаления влаги, сложно учесть свойства отдельных пор, из-за чего многие исследователи используют интегральный подход. Однако, рассмотрение движения жид-

кости в одной поре также представляет определенный интерес.

Постановка задачи. Цель данной работы – исследование влияния проницаемости осадков на перемещение влаги в отдельно взятой поре.

Изложение материала и результаты. Для анализа перемещения жидкой фазы принята единичная сквозная пора, расположенная в слое осадка. По длине поры выделено несколько участков №1-10. Схема расчетной модели приведена на рис. 1.

Участок №1 соответствует выходу из поры в атмосферу через слой фильтровальной ткани, следующие за ним участки постепенно удаляются в сторону подачи суспензии под напором и последний участок №11 соответствует входу в пору.

Для рассмотрения процесса переноса влаги в поре с переменной проницаемостью принято известное дифференциальное уравнение переноса вещества в пористой среде. В общем случае это уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial [P(x, y, t)]}{\partial t} = \frac{\partial [Dx(x, y, t) * \partial P(x, y, t) / \partial x]}{\partial x} + \frac{\partial [Dy(x, y, t) * \partial P(x, y, t) / \partial y]}{\partial y} + ps(x, y, t). \quad (1)$$

Здесь $P(x, y, t)$ – давление жидкости, находящееся в зависимости от координат пространства и времени; $Dx(x, y, t)$ и $Dy(x, y, t)$ – коэффициенты диффузии, зависящие от координат пространства и времени; $ps(x, y, t)$ – внешний источник давления.

Частным случаем данного уравнения является:

$$\frac{D d^2 P}{dx^2} = \frac{dP}{dt}, \quad (2)$$

где D – диффузионный фактор.

Диффузионный фактор D связан с проницаемостью поровой среды осадка и определяется из соотношения:

$$D = \frac{CP}{m\mu}, \quad (3)$$

где C – проницаемость пористой среды осадка; P – давление; m – пористость осадка; μ – вязкость жидкости.

Далее использованы подходы, более подробно изложенные в работах [5, 6]. Для исследования процесса удаления влаги из осадка в неустановившемся режиме методом конечных разностей найдено решение нестационарного дифференциального уравнения (2) потока жидкости сквозь поровую среду осадка, имеющего переменную проницаемость по толщине.

В связи с тем, что жидкость имеет конечную вязкость, давление на выходе из поры падает в течение некоторого времени по экспоненте до атмосферного, которое условно принято за ноль. В аппаратах, применяемых для механического обезвоживания, скорость подачи пульпы обычно соответствует скорости удаления жидкости. Поэтому давление на входе в пору растет так же по экспоненте, но этот процесс происходит медленнее, чем на выходе из поры.

Изменение давления на выходе из поры определялось по зависимости:

$$P(t) = \exp\left(-\frac{t}{20}\right). \quad (4)$$

Изменение давления на входе в пору вычислено как:

$$P(t) = 0.5 + \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{-t}{30}\right)}. \quad (5)$$

Толщина осадка принята равной 30мм, что соответствует условиям фильтрования в фильтр-прессах. Диффузионный фактор имел постоянное значение и определялся по зависимости:

$$D(i) = \frac{0,1}{i^2}, \quad (6)$$

где i – номер участка в поре.

Результаты расчетов представлены в графической форме на рис. 2-5.

На рис. 3, 4 приведены графики изменения избыточного давления на участках, удаленных от входа в пору.

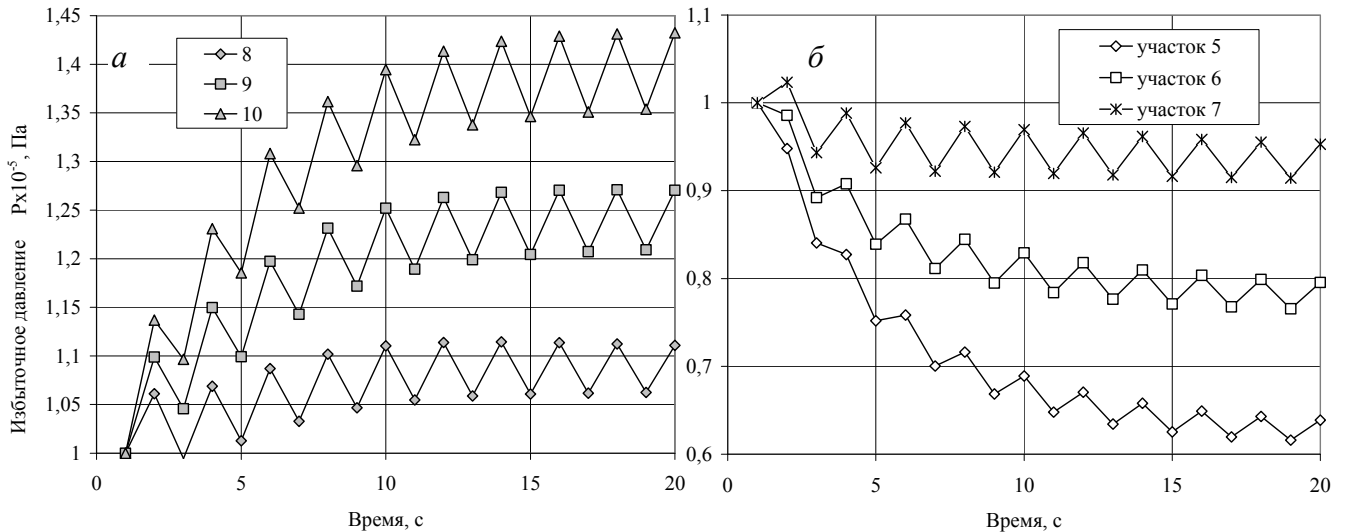


Рис. 2. Избыточное давление на участках поры: а – № 8-10, б – № 5-7

Данные позволяют заключить, что при высоком значении диффузионного фактора и проницаемости осадка, которые приняты для исследования, на участках №9 и №10 еще отмечается рост давления. То же относится и к участку №8. Все эти участки расположены ближе ко входу в пору. При этом имеют место колебания значений избыточного давления, хотя в целом давление на участках с течением времени продолжает увеличиваться. Отсюда следует вывод о возникновении в поре автоколебательных процессов [7].

Из данных рис. 2,б видно, что на участках №5, №6 и №7, расположенных в средней части поры на равном удалении от входа (нагнетания суспензии) и выхода из поры (связь с атмосферой) продолжают развиваться автоколебательные процессы и избыточное давление в поре имеет переменные значения в течение небольших отрезков времени. При этом на участке №7 избыточное давление еще увеличивается в начальный момент, затем происходит снижение его значения на общем фоне колебаний.

На рис. 3 представлено падение избыточного давления на участках поры, расположенных

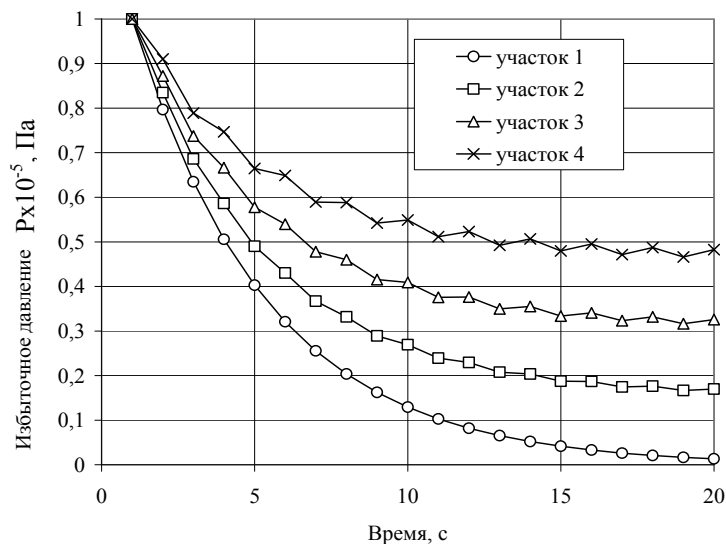


Рис. 3. Избыточное давление на участках, расположенных ближе к выходу из поры

ближе к выходу из нее.

Из данных рис. 3 следует, что на участке выхода №1 колебания давления отсутствуют, идет плавное его снижение до атмосферного, условно принятого за ноль. На соседнем с ним участке №2 колебания избыточного давления начинают развиваться постепенно с течением времени и являются незначительными. На участке №3 колебания выше и появляются довольно быстро – на четвертой секунде. На участке №4 амплитуда колебаний продолжает расти и колебания проявляются уже с самой первой секунды.

Анализ показывает, что чем ближе расположен участок к средней части поры, тем больше разница между соседними во времени значениями избыточного давления. Сравнение разницы в соседних по времени значениях избыточного давления для разных участков показана на рис. 4.

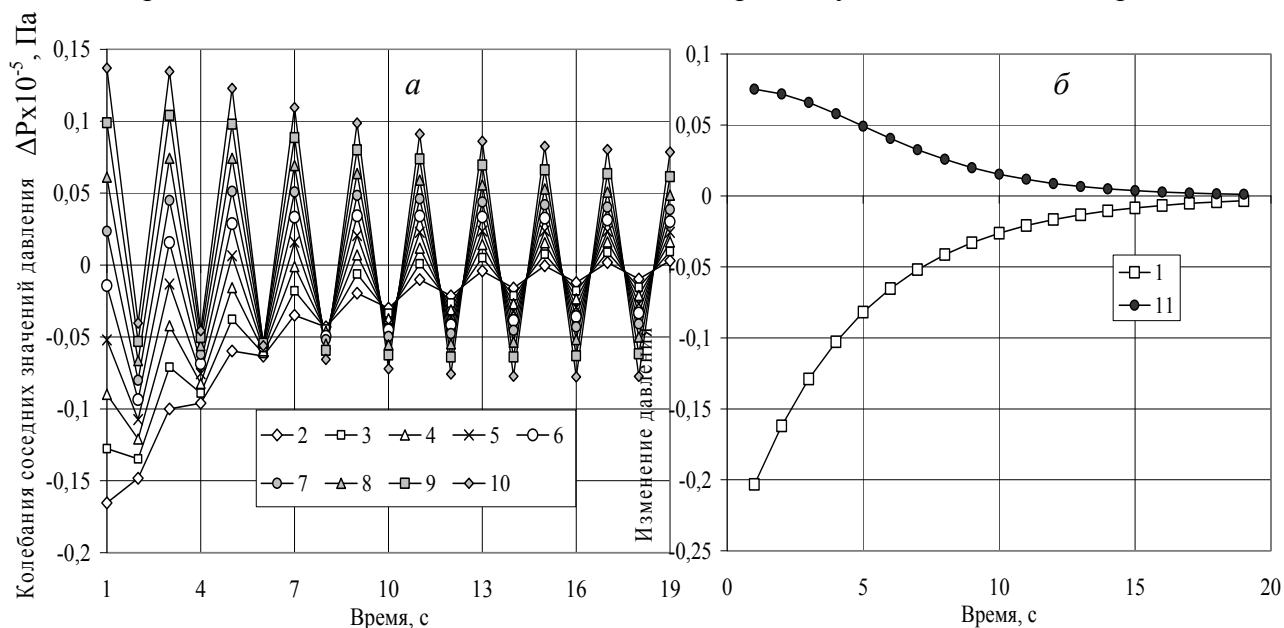


Рис. 4. Разница в соседних значениях давления по длине поры: *а* – на различных участках, *б* – на входе (№11) и выходе (№1)

Результаты, приведенные на рис. 4 позволяют заключить, что максимальная амплитуда колебаний давления характерна для участка №10, расположенного близко ко входу в пору. На соседнем с ним участке №9 амплитуда снижается и минимальная амплитуда колебаний давления имеет место на участке №2, расположенном близко к выходу из поры. В целом колебания давления на различных участках поры стремятся к затуханию с течением времени.

Осадки с низкой проницаемостью имеют минимальное значение диффузионного фактора, который определялся по линейной зависимости:

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

На рис. 5 показаны результаты расчетов при минимальном значении диффузионного фактора для осадков с низкой проницаемостью, которые позволяют прийти к заключению, что от входа в пору, где происходит нагнетание суспензии, до середины поры давление продолжает повышаться, но менее интенсивно. На участке №6 еще наблюдается некоторое небольшое повышение давления, исчезающее с течением времени. Для участков, расположенных в средней части поры, характерно падение напора, которое продолжается до выхода из поры в атмосферу.

Таким образом, потери напора проявляются неоднозначно по длине поры и с течением времени, а также в зависимости от проницаемости осадка. Изменение избыточного давления в поре при низкой проницаемости осадков имеет монотонный характер.

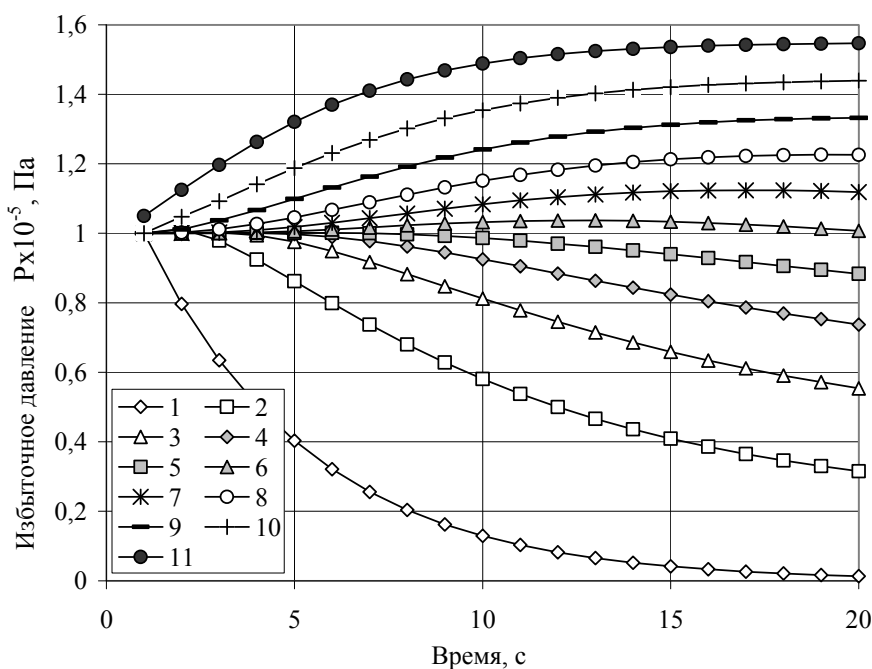


Рис. 5. Избыточное давление в поре для осадков с низкой проницаемостью

Выводы. Для осадков с высокой проницаемостью характерно наличие колебаний избыточного давления по длине поры, которые развиваются постепенно с течением времени. При этом, чем ближе расположен участок к средней части поры, тем больше разница между соседними значениями избыточного давления. Максимальная амплитуда колебаний давления характерна для участков, расположенного близко ко входу в пору. На участках, находящихся близко к выходу из поры, амплитуда колебаний избыточного давления наиболее низкая.

Колебания давления на различных участках поры стремятся к затуханию с течением времени.

Потери напора проявляются неоднозначно по длине поры и с течением времени.

Изменение избыточного давления в поре при низкой проницаемости осадков имеет монотонный характер.

Обнаруженное изменение избыточного давления по длине поры при высокой проницаемости осадка еще раз подчеркивают сложность протекающих в поре процессов даже при принятых упрощениях.

Список литературы

1. Полулях А.Д. Особенности современных технологий углеобогащения / А.Д. Полулях // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. - Дніпропетровськ. – 2003. – вип. 17(58). - С. 3-6.
2. Дерягин Б.В. и др. Вода в дисперсных системах. / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев, Ф.Д. Овчаренко. – М.: Химия. – 1989. – 288 с.
3. Jerauld G. R. The effect of pore-structure on hysteresis in relative permeability and capillary pressure: pore level modeling. / G.R. Jerauld, S.J. Salter. // Transport in Porous Media, 5, 1990. – p. 103–151.
4. Гарковенко Е.Е. и др. Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных угле-содержащих материалов. / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, А.И. Самойлов и др. Донецк: Норд-Пресс. – 2002. – 266 с.
5. Гарковенко Е.Е. Методы моделирования процесса фильтрования жидкости через пористую среду осадка / Е.Е. Гарковенко / Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ. – 2005 - №56 - С. 27-34.
6. Гарковенко Є.Є. Інтенсифікація процесу фільтрування в полі деформацій зсуву / Є.Є. Гарковенко, О.І. Назимко // Труды Міжнар. конф. «Міжнародний та вітчизняний досвід переробки відходив». 2002. – С. 17-19.
7. Назимко О.І. Аналітичне дослідження впливу проникності осадів на переміщення речовини в порах / О.І. Назимко, Є.Є. Гарковенко, В.Г. Морозова // Обогащение полезных ископаемых: Науч.-техн. сб. - Днепропетровск. – 2004. – Вып. 20(61). – С. 83-88.