

Е.А. БЕРЕЗНЯК

(Україна, Дніпропетровськ, Національний горний університет)

СПЕКТРАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ В КАПИЛЛЯРАХ

Скорость фильтрования воды через слой осадка тонкодисперсных суспензий уменьшается с течением времени [2]. Это явление нельзя объяснить сжимаемостью осадка и перераспределением тонких частиц по высоте фильтруемого слоя [3].

Кинетика фильтрования жидкости через пористые среды является одним из важных технологических параметров, влияющих на выбор обезвоживающего оборудования, его производительность и влажность конечного продукта.

Осадок суспензии можно представить как совокупность капилляров, размеры и количество которых определяются гранулометрической характеристикой и формой частиц, составляющих этот осадок [1]. В связи с этим представляет интерес исследование кинетики протекания жидкости через отдельные капилляры.

В работе [4] приведены исследования кинетики течения воды через капилляр из полиэтилена диаметром 30 мкм и длиной 16,2 мм. Протекание жидкости осуществлялось при перепаде давления 0,08 МПа. Измерение расхода проводилось посредством капельного расходомера с автоматической регистрацией показаний. Период следования капель измерялся с точностью 1/1000 с.

На рис. 1 представлены результаты изменения расхода дегазированной дистиллированной воды через капилляр от времени. Скорость фильтрования пропорциональна расходу воды с точностью до постоянного множителя. Как видно из рис. 1, за первые 4 минуты расход воды уменьшился более чем на 12%, а в дальнейшем уменьшение расхода было менее значительным и за 45 минут составило около 18%. Более подробно результаты протекания в последние 10 минут эксперимента представлены на рис. 2. Как видно из рисунка, течение жидкости явно носит колебательный характер.

Традиционным подходом к исследованию спектральных характеристик колебательных процессов является преобразование Фурье, в результате которого получается частотный спектр сигнала. Преобразование Фурье не позволяет локализовать частотные компоненты сигнала во времени, что необходимо при анализе нестационарного процесса.

В таких случаях для анализа сигнала целесообразно применять обобщенный метод Фурье (локальное преобразование Фурье). Этот метод основан на том, что исследуемая функция разбивается на временные интервалы, для каждого из которых выполняется преобразование Фурье. В результате получаем несколько амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), сдвинутых во времени, что позволяет анализировать их изменение.

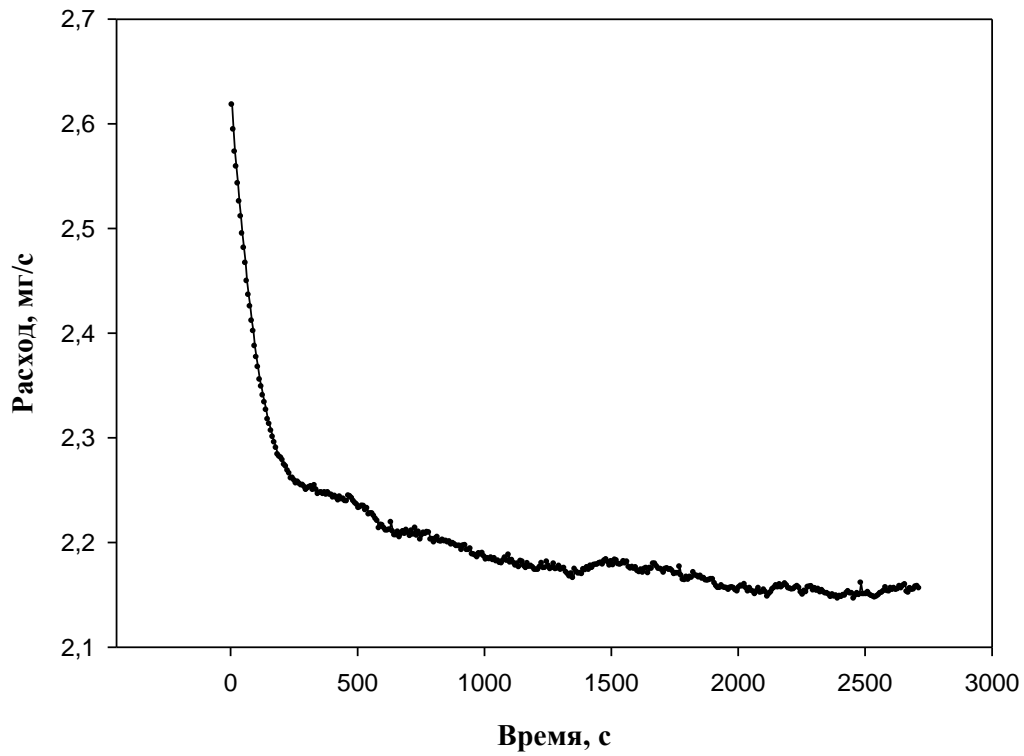


Рис. 1. Зависимость расхода воды через капилляр от времени.

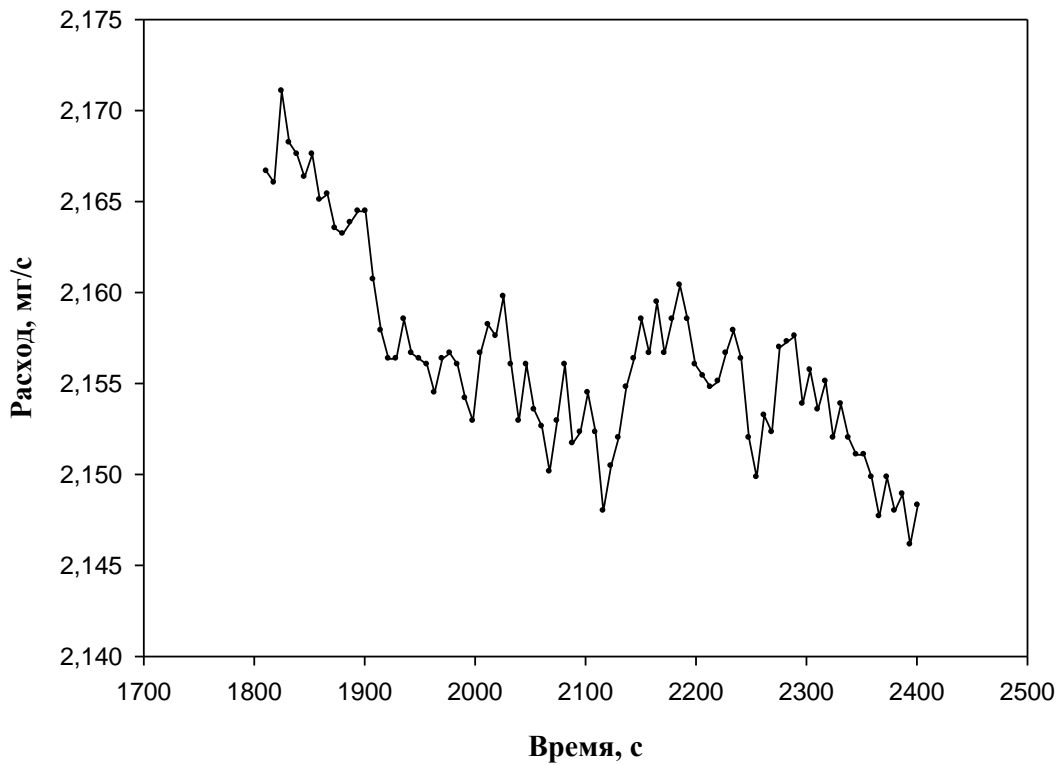


Рис. 2. Зависимость расхода воды через капилляр от времени за последние 10 минут эксперимента

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Спектральную функцию можно найти в результате известного прямого преобразования Фурье:

$$V(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} v(t)e^{-i\omega t} dt$$

Здесь $V(\omega) = Ae^{i\varphi} = A\cos\varphi + iA\sin\varphi$, $v(t)$ – скорость фильтрования, м/с; t – время, с; ω – круговая частота, с⁻¹.

Так как значения сигнала измерены только в дискретные моменты времени: $t_n = n\Delta t$, $n = 0 \dots N-1$, то для численного интегрирования применяем суммирование:

$$V_k = V(\omega_k) = \Delta t \sum_{n=0}^{N-1} v(t_n) e^{-i2\pi kn/N}$$

Исходную кривую на рис. 1 разбиваем на три интервала по времени: 0-986; 986-1811; 1811-2700 с. На каждом из интервалов выполняем прямое преобразование Фурье, в результате которого получаем (АЧХ) процесса фильтрования воды через капилляр, которые приведены на рис. 3, 4 и 5.

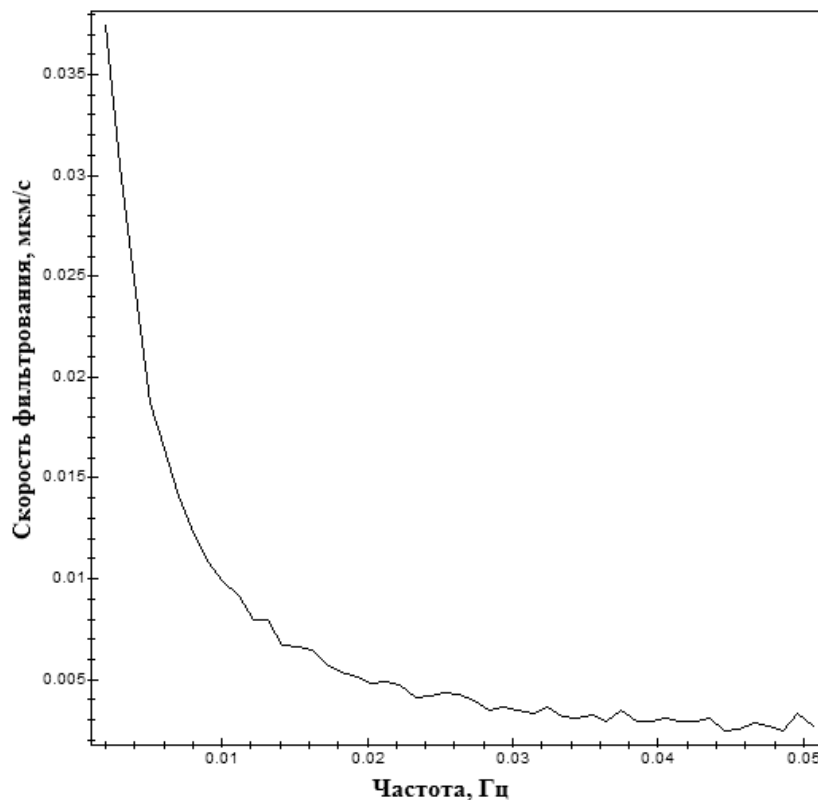


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика кинетики фильтрования через капилляр в интервале времени 0-986 с

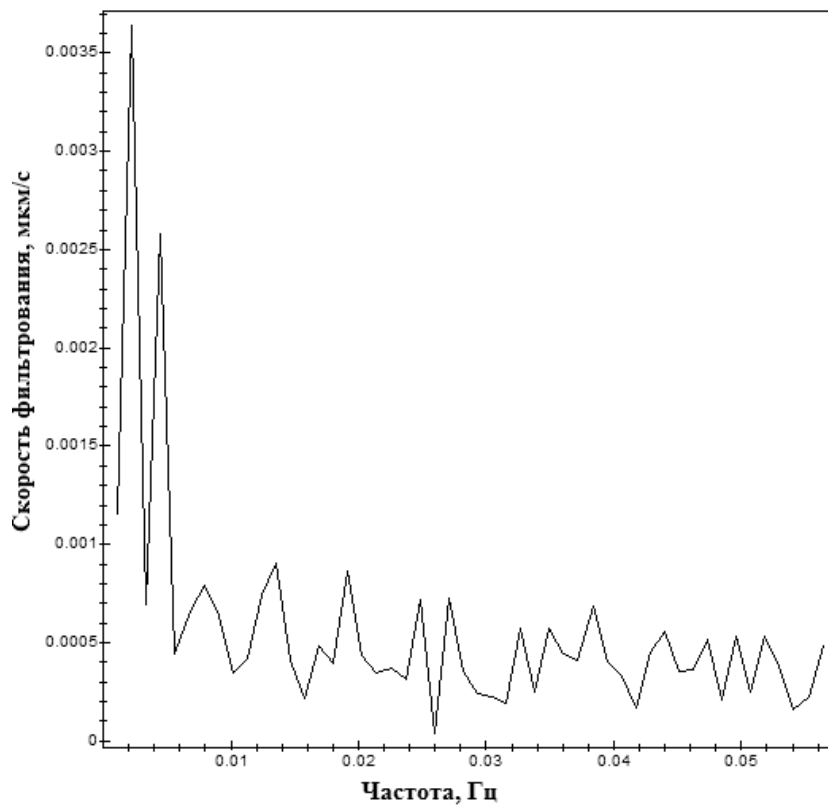


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика кинетики фильтрования через капилляр в интервале времени 986-1811 с

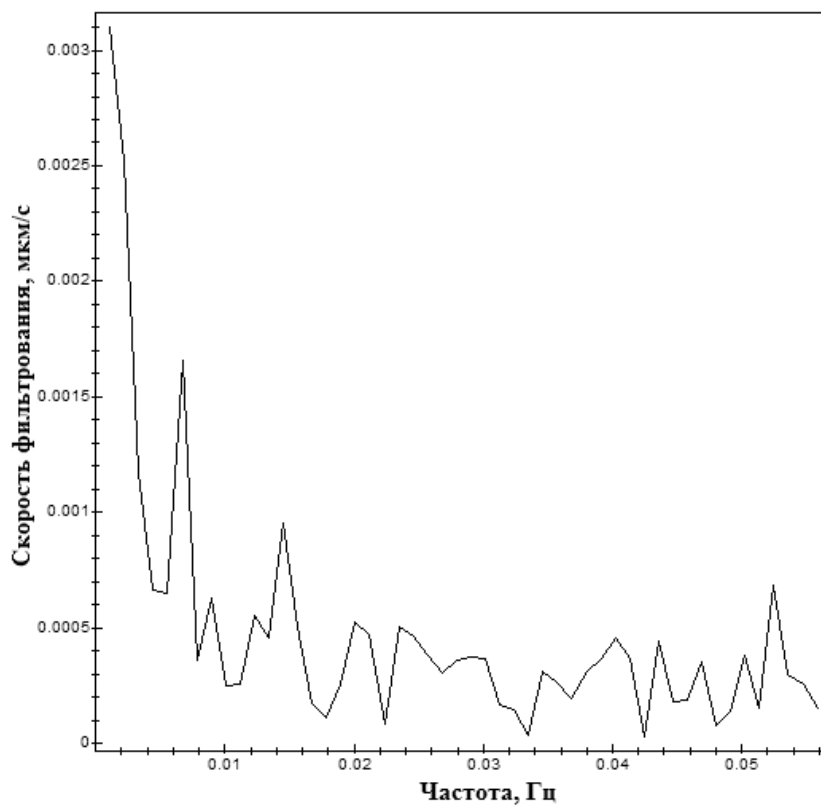


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика кинетики фильтрования через капилляр в интервале времени 1811-2700 с

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Как видно из рисунков, в первый интервал времени (АЧХ) соответствует монотонно протекающему процессу без существенных колебаний. Во втором интервале времени наблюдаются явно выраженные низкочастотные колебания с частотой 2 и 4 мГц. В дальнейшем характер колебательного процесса существенно не изменился, за исключением изменения соотношения амплитуд сигналов.

Настоящие результаты показывают, что при фильтровании воды через тонкие капилляры возникают автоколебания расхода воды и скорости фильтрования во времени с характерными частотами. Возможно, такой характер течения воды обусловлен периодическим образованием и срывом гидратной пленки на поверхности стенки капилляра. Для предотвращения образования такой пленки можно воздействовать различными физико-химическими способами, причем целесообразно осуществлять воздействие в импульсном режиме с частотой, равной собственной частоте капилляра.

Пористые среды состоят из совокупности капилляров, поэтому к ним, по-видимому, применимы приведенные выше рассуждения.

Список литературы

1. Бейлин М.И. Теоретические основы процессов обезвоживания углей. – М.: Недра, 1969. – 240 с.
2. Жужиков В.А. Фильтрование. – М.: Химия, 1980. – 400 с.
3. Березняк А.А., Козырь Е.О, Нестеренко Е.А. Исследование кинетики фильтрования через осадок дистена крупностью 40-50 мкм // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2007 – Вип. 27(68)-28(69). – С. 126-132.
4. Пилов П.И., Березняк А.А. Колебательный характер движения жидкости через капилляры при фильтровании // Научный симпозиум "Неделя горняка-2010". – М.: МГГУ, 2010. – С. 244-246.

© Березняк Е.А., 2013

*Надійшла до редколегії 16.09.2013 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*