УДК 622.331:552.577

Г.В.СОТНИКОВ
Тверской государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ КАПИЛЛЯРНОЙ ПРОПИТКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТОРФЯНЫХ СИСТЕМАХ

Представлены уравнения, описывающие движение жидкости с разной кислотностью в кварцевых сквозных и тупиковых капиллярах. В процессе сорбции жидкости наблюдаются две стадии: высокая скорость первой определяется вязким сопротивлением жидкости, на диффузионной стадии скорость процесса заметно снижается. Скорость капиллярного поднятия жидкости в вертикальном сквозном цилиндрическом капилляре описывается уравнением Уошборна. Представлены примеры пропитки сквозных и тупиковых капилляров жидкостями с разным pH. Скорость пропитки растворов в кислой среде выше, чем в щелочной.

This paper presents equations describing a movement of liquid having different acid value in blind and through quartz capillaries. The movement of liquid has two consecutive stages: fast stage – the velocity depends on ductile resistance; slow (diffusion) stage. The Washborn equation describe the velocity of liquid capillary rising in through vertical cylindrical capillary. According to examples of blind and through capillaries impregnation with solutions having different pH, the velocity of impregnation in acid medium is higher then in alkaline one.

При сушке торфа возникают необратимые структурные изменения, которые уменьшают водопоглотительную способность торфяных сорбентов. Поэтому необходимо создавать такие материалы, которые бы не меняли или только частично уменьшали свои поглотительные свойства.

В сорбционных процессах обычно применяются пористые адсорбенты с различными физико-химическими свойствами. Для описания сложных процессов поглощения жидкости в торфе использована модель пористого тела, представляющая собой совокупность сквозных и тупиковых кварцевых капилляров (рис.1).

Смещение мениска измеряется с помощью компаратора марки ИЗА–2.

Объем жидкости Q, протекающий через цилиндрический капилляр радиусом r и длиной l за время τ, согласно закону Пуазейля:

$$Q = \frac{\pi \Delta P r^4 \tau}{8\eta l},$$

где η – вязкость жидкости; ΔP – перепад давления на концах капилляра.

Капиллярное давление мениска в капилляре:

$$P_к = 2\sigma \cos\theta / r,$$

где σ – поверхностное натяжение; θ – краевой угол смачивания.

Для капилляров большого радиуса скорость капиллярного поднятия жидкости в вертикальном ($\alpha = 90°$) цилиндрическом капилляре определяется уравнением Уошборна*

$$\frac{dl}{d\tau} = \left(\frac{2\sigma \cos\theta}{r} - \sin\alpha \rho g l \right) \frac{r^2}{8\eta l}, \qquad (1)$$

где ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения.

При горизонтальном расположении капилляра ($\alpha = 0°$) уравнение (1) принимает вид

$$v_1 = \frac{dl}{d\tau} = \frac{2\sigma r \cos\theta}{8\eta l}.$$

---

* *Афанасьев А.Е.* Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства / А.Е.Афанасьев, Н.В.Чураев. М.: Недра, 1992.

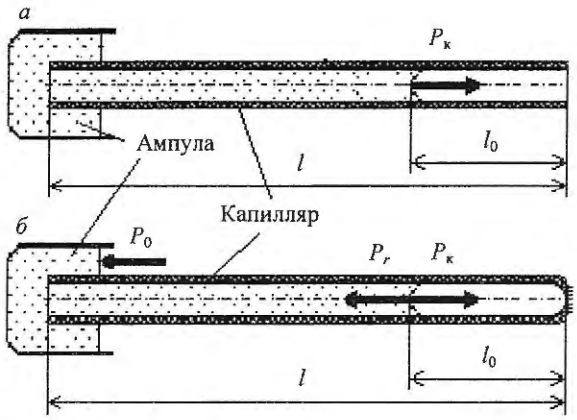


Рис.1. Схема пропитки сквозного (*а*) и тупикового (*б*) капилляров
l_0 – длина сжатого воздушного столбика в капилляре, l – полная длина капилляра

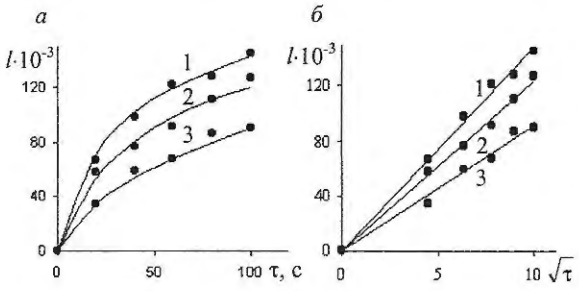


Рис.2. Кинетика впитывания растворов в сквозной кварцевый капилляр
1 – pH = 4; 2 – pH = 6,9; 3 – pH = 10,3

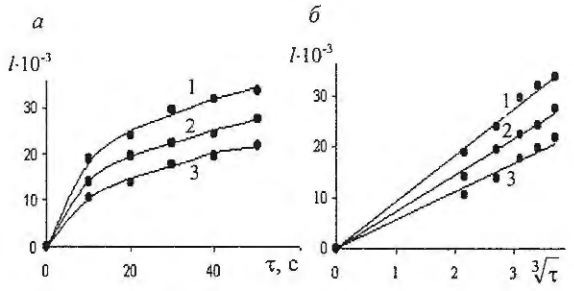


Рис.3. Кинетика впитывания растворов в тупиковый кварцевый капилляр
1 – pH = 4; 2 – pH = 6,9; 3 – pH = 10,3

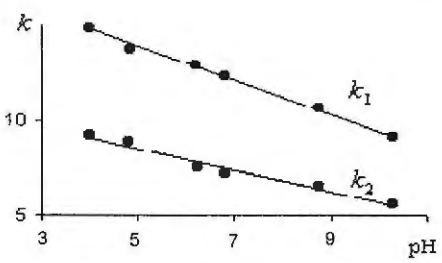


Рис.4. Зависимость константы впитывания от кислотности растворов

После интегрирования получим

$$l^2 = \frac{r\sigma\cos\theta\tau}{2\eta}. \qquad (2)$$

При постоянных значениях r, σ и θ из уравнения (2) следует известный закон капиллярной пропитки:

$$l = k_1\sqrt{\tau}, \qquad (3)$$

где $k_1 = \sqrt{r\sigma\cos\theta/2\eta} = \text{const}$.

Таким образом на скорость капиллярного впитывания влияют свойства жидкости (вязкость и поверхностное натяжение), диаметр капилляра, угол наклона капилляра к горизонту. Установлено также влияние гистерезиса краевого угла и расширений в цилиндрическом капилляре, снижающих скорость впитывания.

При пропитке жидкостями тупиковых кварцевых капилляров с замкнутым пузырьком воздуха экспериментально и теоретически установлено, что

$$l = k_2\sqrt[3]{\tau},$$

где $k_2 = \sqrt[3]{3r\sigma\cos\theta l_0/4\eta} = \text{const}$ (кубический корень здесь возникает за счет противодавления газа в тупиковом капилляре, которого нет в сквозном).

В процессе поглощения (сорбции) жидкости выделяется две стадии: одну контролирует вязкое сопротивление жидкости, другую – диффузионное сопротивление переноса жидкости. Обе стадии описываются одним и тем же законом (рис.2, 3).

Анализ графиков $l = f(\tau)$ показывает, что пропитка кварцевых капилляров растворами различной кислотности начинается с момента соприкосновения капилляра с раствором, а сами зависимости $l = f(\sqrt{\tau})$ и $l = f(\sqrt[3]{\tau})$ линейны и константы пропитки имеют постоянные значения на протяжении всего процесса впитывания. Это свидетельствует о том, что процесс впитывания протекает в соответствии с законом (3).

При сорбции кислых растворов процесс протекает быстрее, чем при сорбции щелочных (рис.4).

Установлено, что для капилляров с большой площадью поперечного сечения характерна бóльшая скорость подъема жидкости, но максимальная высота подъема меньше, чем для тонких капилляров.

Таким образом, применение законов капиллярной сорбции жидкостей с различной кислотностью в модели пористого тела позволяет прогнозировать пропитку торфяных и сапропелевых систем, создавать на основе торфа и сапропеля новые сорбционные материалы, сорбционная способность которых сохраняется при сушке и хранении готовой продукции.

Научный руководитель д.т.н. проф. *А.Е.Афанасьев*