

677.017

ГРАВИТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАПИЛЛЯРНОСТИ ТКАНЕЙ И НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Волков В.А., проф. МГУДТ, Агеев А.А., проф. РОСНОУ

г. Ростов, Российская Федерация;

Слабова К.Д., студ. МГУДТ, Титов Ю.И., студ. МГУДТ

г. Москва, Российская Федерация.

Ключевые слова: капиллярность, краевой угол смачивания, распределение капиллярного пространства, гравитометрический метод, волокнистый состав, нетканый материал.

Реферат. Рассматриваются методы определения капиллярных параметров капиллярно-пористых тел на примере ткани. Предлагается гравитационный метод определения капиллярных параметров, в том числе и распределения капиллярного пространства по размерам капилляров. Определено влияние волокнистого состава нетканых стелечных материалов типа Стелан на капиллярные параметры.

Капиллярные свойства ткани, как известно [1] играют огромную роль в процессах облагораживания и отделки тканей и нитей, а также их модификации. Обычно капиллярность характеризуют по высоте поднятия воды за 30 мин. Но это способно привести к неправильным выводам, поскольку найденная таким методом «капиллярность» зависит не только от размера капилляров, но и от краевого угла смачивания, которые изменяются при очистке и модификации поверхности волокон [2].

В работе [3] приведен вывод и анализ уравнения Уошборна, которое позволяет рассчитать средний размер капилляров в ткани, если известна величина максимально возможного подъема жидкости по вертикальному образцу. В этой же работе предложен кинетический метод определения максимального подъема жидкости по вертикальному образцу ткани и расчета величины краевого угла смачивания. Другой вариант такого определения предложен в работе [4], в которой после разложения в ряд уравнения Уошборна получено уравнение линейной зависимости скорости подъема жидкости от высоты подъема.

В последнее время мы проводили исследования по объемному поглощению жидкости и расчету распределения капиллярного пространства по размерам капилляров [5] с расчетом по специально разработанной программе для ПЭВМ [6]. Этот метод позволяет выявить важные параметры капиллярности, но его точность недостаточна, поскольку определить объем поглощенной жидкости с точностью более, чем $0,1 \text{ см}^3$ не представляется возможным.

В этой связи нами разработан гравитометрический (весовой) метод определения капиллярных параметров капиллярно-пористых тел, точность определения количества поглощенной жидкости в котором на три порядка выше, чем в объемном методе. Схема использованной установки приведена на рисунке 1.

Для описания кинетики гравитационного впитывания жидкостей капиллярно-пористыми телами были получены уравнения

$$m_m \ln \frac{m_m}{m_m - m} - m = K_m t, \quad (1)$$

где m, m_m – масса поглощенной жидкости за время t и предельная масса поглощенной жидкости, K_m – константа весового поглощения жидкости.

Уравнение (1) является аналогом уравнения Уошборна для линейного поглощения жидкости [3]. Уравнение (1) неудобно для практического применения, поэтому оно было упрощено методом разложения логарифмической функции в ряд Тейлора.

В результате преобразования было получено уравнение

$$m^2 = K(m_m - m)t, \quad (2)$$

которое по форме аналогично уравнению Уошборна для кинетики впитывания жидкости горизонтальными образцами

$$m^2 = Ct, \quad (3)$$

где C – константа уравнения кинетики впитывания жидкостей горизонтальными образцами

$$C = \frac{r(\pi r_c^2)^2 \varepsilon^2 \rho^2 \sigma \cos \theta}{2 \eta}, \quad (4)$$

ε – коэффициент извилистости капилляров, который определяется при использовании жидкости, полностью смачивающей поверхность капилляров, т.е. при $\cos \theta = 1$.

Уравнение (3) часто используют для обработки кинетических зависимостей не только при горизонтальном размещении впитывающих образцов, но и для начального участка впитывания жидкостей вертикальными образцами, на том участке кинетической зависимости, когда гидростатическое давление не вносит существенной погрешности в расчеты.

В отличие от уравнения Уошборна наше уравнение (2) учитывает вклад гидростатического давления членом $(m_m - m)$, что позволяет получать

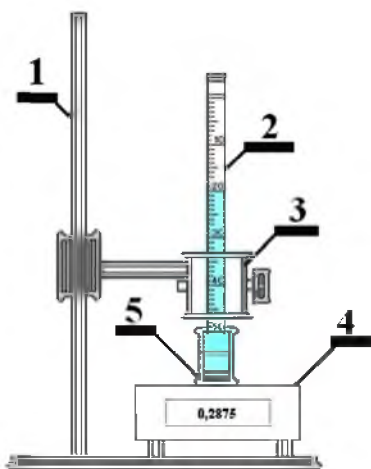


Рисунок 1 – Установка для определения гравитационного определения капиллярности

более точные результаты.

На рисунке 2 показана кинетическая кривая в координатах уравнения (2). Можно видеть, что линейная зависимость соответствует только начальному участку этой кривой. Начиная с некоторого момента времени начинает проявляться гидростатическое давление и зависимость отклоняется от линейности.

Для нахождения капиллярных параметров уравнение (2) приводится к удобной линейной форме

$$\frac{m}{t} = K_m \frac{m_m}{m} - K_m \quad (5)$$

В уравнении (5) $K_m = \frac{\pi^4 \rho^2 g}{8\eta}$, $\left(\frac{m_m}{m}\right)$ – степень заполнения капилляров жидкостью, при $\left(\frac{m_m}{m}\right) = 1$ $\frac{m}{t} = 0$, т.е. наступает равновесие. $\lim_{m \rightarrow 0} \frac{1}{m} = K_m$, а тангенс угла наклона линейной зависимости $\operatorname{tg} \varphi = K_m m_m$, поэтому после построения линейной зависимости в координатах уравнения (5) можно определить как предел заполнения капилляров, так и их размер, а по уравнению

$$\cos \theta = C m_m \quad (6)$$

вытекающему из уравнения Жюрена, рассчитать косинус краевого угла смачивания поверхности волокон жидкостью, где $C = \frac{g}{2\pi r \sigma}$.

Пример кинетической зависимости поглощения воды образцом нетканого материала Стелан в координатах уравнения (5) показан на рисунке 3. Можно видеть, что экспериментальные данные хорошо описываются уравнением (5). Отрезок на оси ординат, как и предсказывает уравнение (5), находится в отрицательной области, а абсолютной величине соответствует константа K_m весового поглощения жидкости.

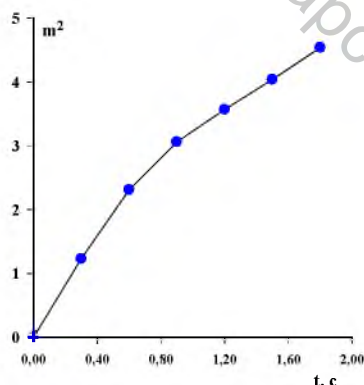


Рисунок 2 – Кинетическая зависимость поглощения воды образцом Стелана ПЭФ+Шерсть в координатах уравнения (2)

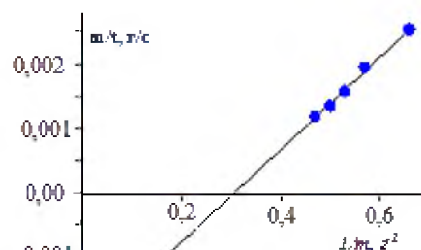


Рисунок 3 – Кинетическая зависимость поглощения воды образцом Стелана ПЭФ+Шерсть в координатах уравнения (5)

Очевидно, что предложенный новый метод определения капиллярных характеристик отличается от используемых ранее методов простотой и более высокой точностью, поскольку массу поглощенной жидкости можно определять с точностью до 4 знака после запятой, когда визуальное определение высоты подъема, особенно если фронт поднимающейся жидкости не горизонтальный, находится с погрешностью в несколько процентов, также как и объем поглощенной жидкости, который также определяется визуально.

Кроме того, предложенный новый метод гравитометрического определения капиллярных параметров можно использовать и для расчета распределения капиллярного пространства по размерам капилляров по программе, разработанной нами для объемного метода простым переводом массы поглощенной жидкости в её объем [6].

Список использованных источников

1. Агеев А.А., Волков В.А. Поверхностные явления и дисперсные системы в производстве текстильных материалов и химических волокон. – М.: Совьяж Бево, 2004, 246 с.
2. Сафонов В.В. Роль ПАВ в процессе щелочной отварки хлопковых волокон.// Сафонов В.В., Атрешва Л.В., Волков В.А. Химическая пром-сть, 1990, №2, с.15-17
3. Волков В.А. Определение размера капилляров и угла смачивания волокон тканей и нетканых материалов жидкостями по кинетике подъема жидкости по вертикальным образцам. Волков В.А., Булушев Б.В., Агеев А.А. Коллоидн. ж. 2003 г. Т. 65, № 4. С. 569-572.
4. Агеев А.А.. Корреляция моющей способности и смачиваемости в бинарных растворах ПАВ в перхлорэтилене./ Агеев А.А., Волков В.А., Кибалов М.С., Егорова О.С.. В сб. материалов Сессии научного Совета РАН, секции Физической химии растворов ПАВ «Поверхностно-активные вещества в технологических процессах». Москва, МИТХТ, 2010, с.32-34.
5. Волков В.А. Капиллярные свойства текстильных материалов./ Волков В.А., Щукина Е.Л., Егорова О.С. Химическая технология, 2011. Т.12, №2, С.84-99.
6. Волков В.А.. Определение параметров капиллярности капиллярно-пористого тела (на примере ткани)/ Волков В.А. Кузьмина Т.М., Агеев А.А. Дизайн и технология. 2015.