

УДК 678.06

Е.А. Анисимова, Т.С. Истомина, Н.А. Рогозникова

Исследование процессов фильтрации

Вопросы фильтрации и истечения жидкости или газа через пористые среды являются важными ввиду многочисленного применения в науке и технике. Одной из практических ценностей является знание изменения проницаемости фильтра в ходе процесса разделения. Существенное значение при этом, помимо структуры фильтра и физических характеристик жидкости, имеет поверхностное взаимодействие материала фильтра и среды. Так, образование граничных слоев жидкости в гидрофильных пористых средах приводит к существенному росту вязкости жидкости в капиллярах диаметром менее 0,5 мкм [1]. Этот эффект особенно выражен для воды, которая отличается от других полярных жидкостей наличием направленных водородных межмолекулярных связей, ответственных за многие известные аномалии ее объемных свойств. В последнее время обнаружено завышенное значение коэффициентов сопротивления отверстий диаметром менее 65 мкм при истечении через них воды [2]. В капиллярах большего диаметра эти эффекты менее заметны, но ресурс работы фильтров определяется не только структурой осадка и ростом его толщины, но и процессами адсорбции примесных молекул на внутренних стенках капилляров.

Нами была проведена серия экспериментов по истечению водопроводной и дистиллированной воды через капилляры диаметром от 45 до 300 мкм. Скорость истечения воды из капилляров с течением времени существенно изменялась, что позволяет судить об изменении его эффективного диаметра. Такое «зарастание» капилляров связано с процессами адсорбции, протекающими на внутренней поверхности капилляров. По экспериментально найденной расходной скорости из закона Пуазейля определялась толщина адсорбирующегося слоя.

На рисунке 1 приведены экспериментальные данные четырех экспериментов по нахождению зависимости толщины адсорбирующегося слоя от времени истечения воды при постоянном перепаде давления для капилляров разного диаметра. Различие полученных данных в отдельных сериях связано, по всей видимости, с одной из характерных особенностей реологических свойств воды. Так, процессы адсорбции сильно зависят от температуры и свойств дистиллированной воды, на которые могут влиять примеси с очень низкой концентрацией в виде следов. В следующих экспериментах все резиновые соединения в экспериментальной установке были заменены на кварцевые

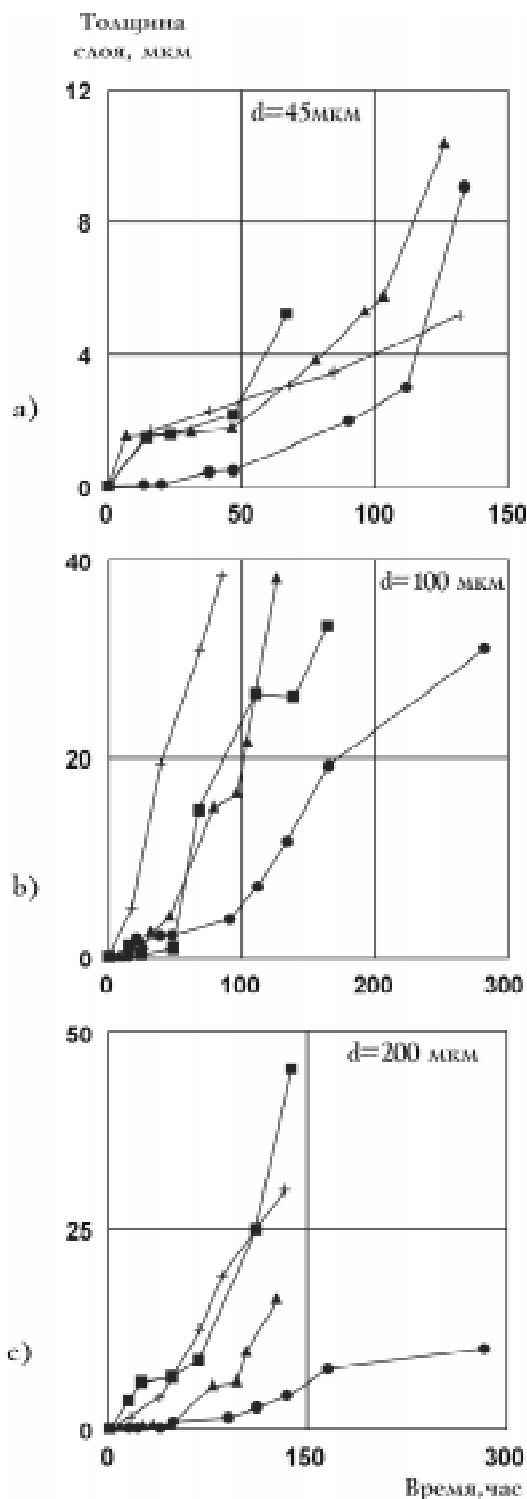


Рис. 1. Зависимость толщины адсорбирующегося слоя в капиллярах (диаметром $d = 45, 100, 200$ мкм) от времени истечения дистиллированной воды по данным четырех экспериментов (а, б, с)

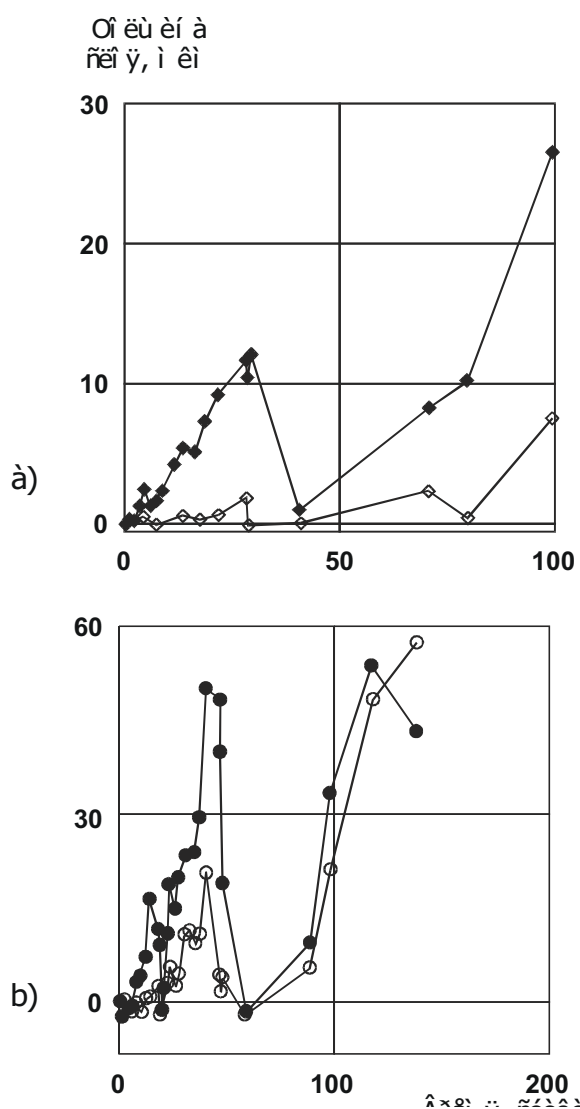


Рис. 2. Зависимость толщины адсорбирующегося слоя в капиллярах от времени истечения дистиллированной воды на экспериментальной установке с кварцевыми трубками
 а) \diamond - $d = 45$ мкм, \blacklozenge - $d = 100$ мкм;
 б) \bullet - $d = 300$ мкм, \circ - $d = 300$ мкм

трубки. Как видно из рисунка 2, скорость образования адсорбирующегося слоя существенно уменьшилась, что, по всей видимости, связано с органическим происхождением состава адсорбирующегося слоя. Минимумы на графиках соответствуют резкому увеличению перепада давления жидкости. Как видно, при этом происходила почти полная очистка капилляров от адсорбирующегося слоя, и дальнейшая скорость его нарастания практически не изменялась.

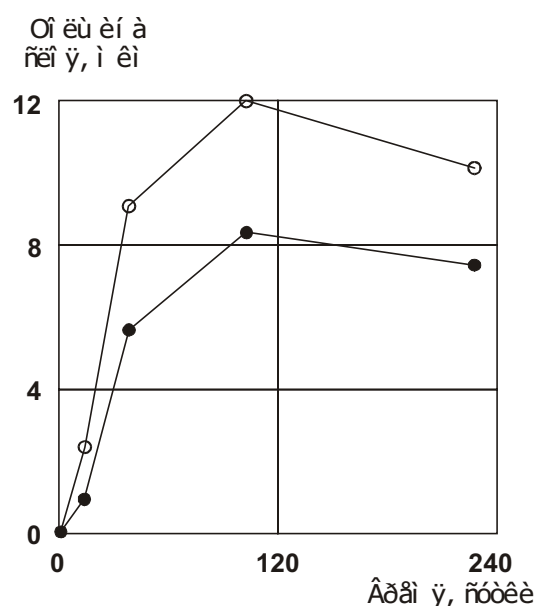


Рис. 3. Зависимость толщины адсорбирующегося слоя в капиллярах от времени истечения водопроводной воды
 \circ - стеклянный - $d = 300$ мкм,
 \bullet - железный - $d = 300$ мкм)

На этом же рисунке представлена сравнительная характеристика изучаемого процесса от рода материала, из которого изготовлен капилляр. Наблюдается тенденция к более сильному проявлению адсорбционных свойств стального капилляра по сравнению со стеклянным, чего нельзя сказать в случае истечения через капилляры водопроводной воды. Данные этих экспериментов представлены на рисунке 3. Видно, что в этом случае адсорбционный слой не имеет тенденции к бесконечному росту, а достигает определенной толщины (в пределах времени эксперимента) и становится довольно устойчивым, так как резкое увеличение перепада давления жидкости не приводило к его очистке. Происхождение состава этого слоя, видимо, имеет неорганическую природу, при этом на внутренней поверхности стеклянного капилляра наблюдался характерный налет оранжевого цвета.

Выводы

Проведены эксперименты по нахождению толщины адсорбирующегося слоя на внутренней поверхности капилляров диаметром от 45 до 300 мкм. Изменение эффективного диаметра пропускного отверстия капилляра можно трактовать как увеличение вязкости жидкости, в которую кроме ньютоновского компонента входят нелинейные члены, обусловленные адсорбирующимися комплексами.

Литература

1. Дерягин Б.В. Поверхностные силы. М., 1985. Analy of excess pressure drops of the flow through very small orifices. Phys. 1997. Fluid 9 (1).

2. Hasegawa T., Sukanuma M., Watanabe H.