

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Н. С. Лидоренко, Г. Ф. Мучник, С. Д. Соломонов,
А. Р. Гордон, Новый метод исследования проницае-
мости пористых материалов, *ТВТ*, 1974, том 12, вы-
пуск 5, 1085–1090

Использование Общероссийского математического портала Math-
Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользователь-
ским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 44.211.24.175

9 ноября 2024 г., 14:30:08



УДК 536.1

НОВЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Н. С. Лидоренко, Г. Ф. Мучник, С. Д. Соломонов,
А. Р. Гордон*

Рассмотрен метод исследования проницаемости пористых материалов, основанный на измерении скорости движения и формы тепловой неоднородности, создаваемой на выходе из пористого образца. Указаны возможные способы образования тепловых меток. Приведены примеры, иллюстрирующие применение метода для исследования проницаемости цилиндрических пористых образцов.

Пористые материалы широко применяются в электрогенерирующих устройствах, и одной из главных проблем их применения является равномерное порораспределение. Однако существующая технология изготовления пористых материалов в большинстве случаев не обеспечивает равномерную проницаемость даже на небольших по площади участках пористых образцов. В связи с этим потребность контроля качества изготовления пористых материалов сегодня выдвигается на первый план.

Круг задач по исследованию фильтрационных свойств пористых сред настолько широк, что почти все известные способы контроля проницаемости различных рабочих сред через пористые тела в каждом конкретном случае ограничены либо размерами и формой исследуемого образца, либо особенностями фильтрующейся среды, либо диапазоном исследуемых скоростей, либо режимом фильтрации и т. д.

Широко распространенный способ определения проницаемости путем замера количества жидкости, продавливаемой через образец при постоянном давлении, позволяет оценить среднюю скорость фильтрации, но не позволяет делать какие-либо заключения о локальных неоднородностях и равномерности распределения пор по поверхности образца.

Способы же контроля локальной проницаемости путем измерения скорости фильтрации миниатюрными трубками полного напора или термисторами, перемещаемыми вдоль поверхности образца [1, 2], обладают теми недостатками, что дают косвенно получаемую (по перепаду давления или температуры) информацию о скорости движения среды на выходе из пористого образца, инерционны, трудоемки, требуют предварительной тарировки и неприменимы для исследования переменной во времени скорости фильтрации. Кроме того, при исследовании достаточно низких скоростей фильтрации оба названных выше чувствительных элемента будут обладать значительной погрешностью в результате проявляемых вязкостных эффектов (для трубок полного напора) и конвекции (для тепловых датчиков). Необходимо также отметить, что при использовании в качестве рабочей среды вязких несжимаемых жидкостей резко увеличивается инерционность термисторных чувствительных элементов, приводящая к большой погрешности при измерении. Для правильного измерения скорости фильтрации указанными методами необходимо также постоянство температуры потока,

обтекающего чувствительный элемент, как в процессе измерения, так и во время тарировки, а также высокая стабильность напряжения источника питания электрической схемы [2].

Ниже описывается сравнительно простой и удобный метод исследования проницаемости пористых структур. Метод обеспечивает непосредственное мгновенное определение переменных во времени локальных скоростей фильтрации вдоль всей поверхности исследуемого образца в широком диапазоне скоростей с одновременным контролем равномерности порораспределения. Отличительная особенность данного метода — возможность визуального контроля исследуемого процесса. Сущность предлагаемого метода заключается в следующем [3]: внешнюю поверхность исследуемого образца закрывают плотно прижатой непроницаемой пластиной со сквозным щелевым отверстием, в котором импульсным разогревом близлежащего к пористой поверхности слоя жидкости создают непрерывный фронт тепловой неоднородности и, регистрируя во времени изменение первоначальной формы и скорости движения этой неоднородности, судят о характере проницаемости через пористое тело.

Ширина щелевого канала определяет степень осреднения скорости фильтрации и равномерности порораспределения на выделенном участке пористой поверхности. Процесс регистрируется посредством шпирной аппаратуры, на экране которой тепловые фронты появляются в виде контрастных белых полос на темном фоне. В результате движения жидкости тепловые фронты сносятся вниз по потоку, образуя непрерывные профили скорости фильтрующейся жидкости. Абсолютное значение скорости получают, измеряя расстояние, пройденное тепловой меткой за фиксированный промежуток времени, изменение первоначальной формы теплового фронта позволяет получить информацию о равномерности распределения активных пор вдоль выделенного щелью участка пористой поверхности. Перемещая непроницаемую пластину вдоль исследуемого образца с шагом, равным ширине щели, можно исследовать проницаемость по всей поверхности.

Поскольку данный способ обеспечивает мгновенное определение скорости фильтрации и равномерности порораспределения одновременно только вдоль выделенного щелью участка пористой поверхности, при отсутствии фильтрации через остальную поверхность, он может быть с успехом применен для изучения нестационарных, быстро меняющихся режимов фильтрации, особенно в тех случаях, когда нестабильность режима является следствием засорения пор мельчайшими частицами, естественно присутствующими в жидкости, или меняется под влиянием физико-химических процессов в капиллярах. Здесь особенно важно знать распределение скоростей вдоль всей пористой поверхности в единые моменты времени. В этом смысле данный метод обнаруживает заметное преимущество перед другими, ранее известными.

В зависимости от формы или структуры пористого тела тепловые метки могут создаваться теми или иными способами. Например (рис. 1), при исследовании пластинчатых пористых структур с крупными порами (~40—100 мк) тепловая неоднородность может быть создана с помощью тонкой металлической проволоки, натянутой на выходе из щели. Проволока разогревается через равные промежутки времени кратковременными электрическими импульсами, образующими в слое примыкающей к ней жидкости равномерные (по длине проволоки) тепловые фронты.

Диапазон исследуемых скоростей фильтрации при использовании проволоки в качестве источника тепловых меток составляет 0,002—0,2 м/сек.

Тепловая шпир на выходе из пористого тела может быть также образована при помощи лазера, применение которого позволяет расширить диапазон исследуемых скоростей фильтрации до десятка метров в секунду и одновременно повысить точность измерения за счет устранения систематической ошибки, связанной с наличием дефекта скорости за проволокой. При изучении фильтрации воды и прозрачных водных растворов существенным

преимуществом обладают квантовые оптические генераторы на неодимовом стекле, работающие в близкой ИК-области на волне 1,06 мк, при которой вода обладает достаточным собственным поглощением [4], что исключает необходимость в добавке к ней красящего вещества для приведения коэффициента поглощения к оптимальному значению.

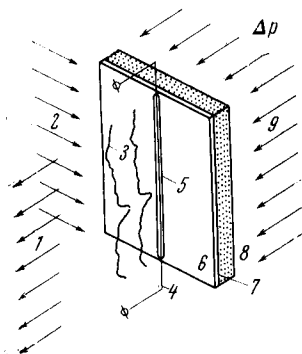


Рис. 1

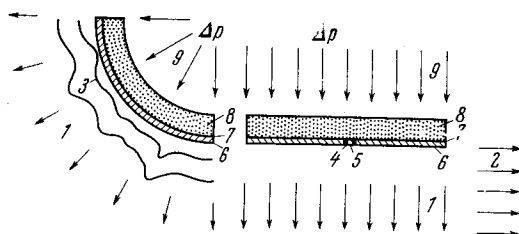


Рис. 2

Рис. 1. Схема визуального наблюдения с использованием металлической проволоки в качестве источника тепловых меток:

1 — поток фильтрующей жидкости; 2 — световой поток теневого прибора; 3 — тепловые фронты; 4 — проволока — источник тепловых меток; 5 — щелевое отверстие; 6 — непроницаемая пластина; 7 — уплотняющая прокладка; 8 — пористый образец; 9 — прикладываемое давление

Рис. 2. Схема визуального наблюдения с использованием электрического разряда через продавливаемую электропроводящую жидкость:

4 — электроды, остальные обозначения см. рис. 1

При исследовании фильтрации прозрачных электропроводящих растворов через образцы с искривленной поверхностью и мелкозернистой пористой структурой тепловые метки могут быть образованы между парой расположенных друг против друга электродов, заделанных заподлицо в стенках щелевого отверстия экранирующей пластины, при продавливании через пористое тело электропроводящей жидкости (рис. 2). Тепловой фронт образуется за счет джоулева тепла, где роль разогреваемого проводника выполняет сама фильтрующаяся жидкость [5]. Такая модификация метода позволяет исследовать режимы фильтрации в диапазоне скоростей от миллиметров до десятка метров в секунду.

Ниже приводятся результаты исследования гидропроницаемости цилиндрических пористых образцов по схеме, приведенной на рис. 1. Пористые образцы диаметром 40 мм, полученные методом гидростатического прессования с последующим спеканием в печи, имели четырехмиллиметровую стенку со средними размерами пор ~60 мк. Длина образцов ~100 мм (максимальная длина образцов лимитирована размером светового поля ширинной аппаратуры). Исследования проводились при помощи теневого прибора ИАБ-451. При этом использовался широко распространённый в газовой динамике и теплообмене теневой метод — нить в фокусе щели [6]. В качестве источника тепловых меток использовалась вольфрамовая проволока диаметром 0,05 мм. Коммутация проволоки с источником питания осуществлялась с помощью электрической схемы, приведенной на рис. 3, которая обеспечивала подачу электрических импульсов напряжением до 40 в с длительностью, регулируемой в диапазоне 0,25–25 мсек. Частота подачи импульсов задавалась генератором типа Г5-7А и варьировалась в зависимости от скорости фильтрации через образец.

Гидравлическая схема установки, на которой проводились исследования, представлена на рис. 4. Установка позволяла осуществлять стационарный и нестационарный режимы фильтрации через пористый образец. Продолжительность режима лимитировалась величиной расхода и емко-

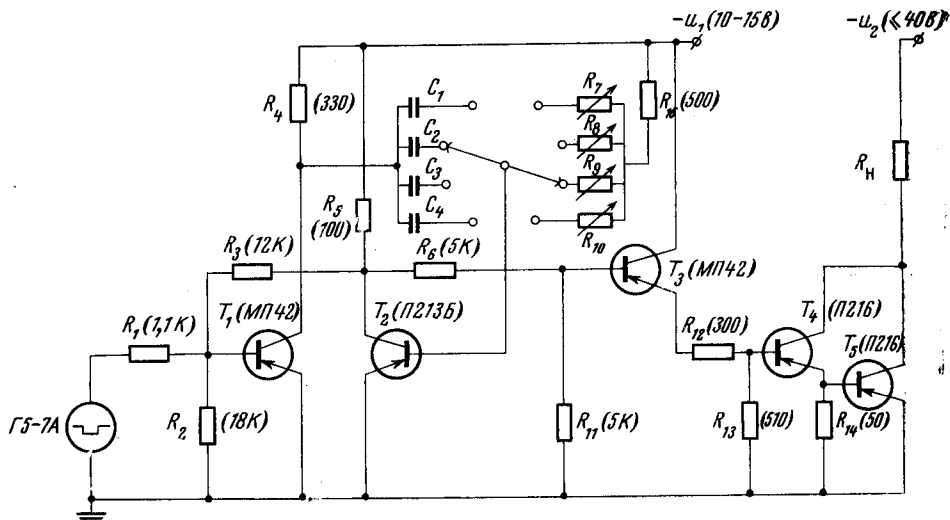


Рис. 3. Электрическая схема коммутации источника питания с визуализирующей нитью:

u_1 — питание одновибратора; u_2 — источник питания нити; R_H — визуализирующая нить; C_{1-4} — набор емкостей соответственно 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 мкФ; R_{7-10} — набор регулируемых сопротивлений соответственно 6,8; 2,2; 2,2; 1,5 К

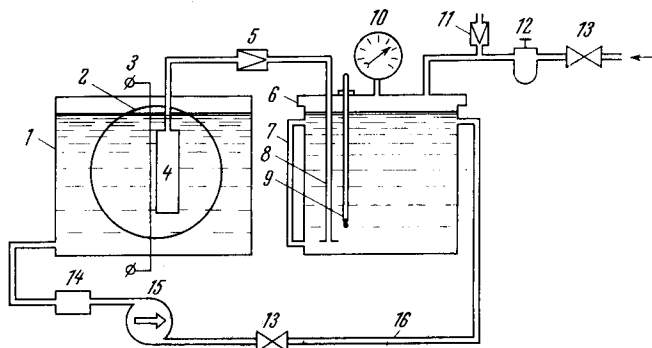


Рис. 4. Гидравлическая схема установки:

1 — смотровой канал; 2 — оптические окна; 3 — проволока — источник тепловых меток; 4 — пористый образец; 5 — клапан; 6 — бак; 7 — указатель уровня; 8 — водозаборник; 9 — термометр; 10 — манометр; 11 — клапан сброса давления; 12 — редуктор; 13 — вентиль; 14 — фильтр; 15 — насос; 16 — трубопроводы

стью основного бака, вмещающего 40 л дистиллированной воды, применявшейся в качестве рабочего тела. Весь процесс фотографировался на негативную пленку чувствительностью 250 единиц ГОСТа фотоаппаратом «Зенит».

На рис. 5 приведены типичные фотографии, иллюстрирующие равномерность порораспределения и поле скоростей на выходе из пористого стакана при последовательном повороте его относительно визуализирующей нити на 15 град (при ширине щели 0,3 мм). Перепад давления на пористой стенке составлял 0,12 атм. При этом расход через единицу поверхности составил 0,241 см³/сек см². На фотографиях отчетливо просматриваются зоны локальных неоднородностей. Наиболее крупные поры на общем фоне выделяются характерными острыми пиками — выбросами, более мелкие — впадинами. Из представленных фотографий наиболее удовлетворительная равномерность порораспределения наблюдалась на рис. 5, б. В таблице приведены результаты расшифровки приведенных выше фото-

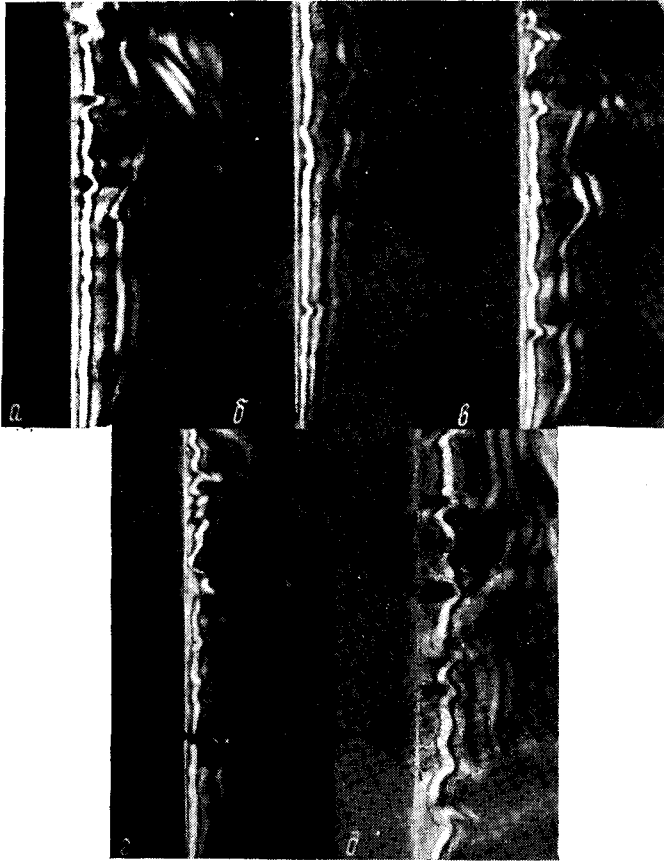


Рис. 5. Фотографии, иллюстрирующие равномерность порораспределения и поле скоростей на выходе из пористого стержня

графий для шести одноименных точек на образующей цилиндра. Методика обработки экспериментальных данных подробно изложена в [7] и здесь не приводится.

Применяемое измерительное оборудование и аппаратура позволяют определить скорость фильтрации с точностью $\sim 2,5\%$, а продольную координату вдоль образующей цилиндра с точностью $\sim 1,0\%$.

Распределение скорости фильтрации вдоль образующей пористого цилиндра ($\bar{U} = 2,41 \cdot 10^{-3}$ м/сек)

Координаты*: абсцисс U , м/сек ординат y/K_M , мм	Положение пористого образца				
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
	$U \cdot 10^3$, м/сек				
5	1,86	1,2	1,58	1,75	1,06
20	2,26	1,62	2,14	2,16	1,78
35	2,63	1,79	2,14	2,16	1,31
50	3,97	1,79	3,64	4,67	1,85
65	5,33	2,13	2,52	3,50	2,02
80	2,54	2,73	3,54	2,41	2,10

* \bar{U} — средняя скорость фильтрации; $K_M = 1,1$ — масштабный коэффициент; U — локальная скорость фильтрации.

В заключение следует отметить, что данный метод может применяться для любых пористых материалов с различной величиной пор, не ограничен формой и размерами (кроме габаритных по световому полю шпирной аппаратуры) образцов, позволяет получать мгновенное распределение скоростей по всей поверхности образца в широком диапазоне скоростей и режимов фильтрации, обеспечивает достаточно высокую (не хуже 5%) точность измерения [7], прост в эксплуатации и легко поддается механизации и автоматизации. Метод может быть использован в производственной и научно-исследовательской практике для контроля проницаемости оптически прозрачных диэлектрических и проводящих жидкостей через пористые материалы.

Москва

Поступила в редакцию
12 X 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. М. Карпинос, В. С. Клименко, И. К. Сенченков, Е. М. Новицкий. Авт. свид. № 249734, ОИПОТЗ, № 25, 95, 1969.
2. А. А. Зеленгур, В. Н. Мамонов. Порошковая металлургия, № 11, 89, 1969.
3. Н. С. Лидоренко, Г. Ф. Мучник, А. Р. Гордон, С. Д. Соломонов, В. В. Фоминых. Авт. свид. № 375526; ОИПОТЗ, № 16, 96, 1973.
4. H. Hoffman, E. Yeager. J. Stuehr. Rev. Sci. Instr., 39, № 5, 649, 1968.
5. G. Czerlinski, M. Eigen. Z. Elektrochem., 63, № 6, 652, 1959.
6. Л. А. Васильев. Теневые методы. «Наука», 1968.
7. С. Д. Соломонов, А. Р. Гордон. Тр. IV Всес. совещания по тепло- и массообмену. Теплообмен, 1, 1, 388; «Наука и техника», Минск, 1972.