

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

А.А. Белогорлов И.В. Тронин

Лабораторная работа

**«ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ
ЖИДКОСТНОЙ ПОРОМЕТРИИ»**

*Рекомендовано УМО «Ядерные физика и технологии»
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений*

Москва 2008

УДК 538.971 (076.5)

ББК 22.37я7

Б 43

Белогорлов А.А., Тронин И.В. Исследование пористых систем методом жидкостной порометрии: Лабораторная работа. М.: МИФИ, 2008. – 20 с.

Даны представления об исследовании структуры пористых веществ методом жидкостной порометрии. Описаны экспериментальная установка, методики получения и анализа зависимостей заполнения и вытекания несмачивающих жидкостей из пористых веществ для определения удельного объёма пор, распределения пор по размерам, а также энергетических характеристик процессов заполнения и вытекания.

Лабораторная работа предназначена для студентов, обучающихся по специальности «Физика кинетических явлений».

Пособие подготовлено в рамках Инновационной образовательной программы МИФИ.

Рецензент канд. физ.-мат. наук А.В. Зенкевич

ISBN 978-5-7262-0994-4

© Московский инженерно-физический институт
(государственный университет), 2008

Редактор Т.В. Волвенкова

Подписано в печать 12.11.08. Формат 60x84 1/16

Печ. л. 1,25. Уч.-изд. л. 2,0. Тираж 120 экз.

Изд. № 3/65 Заказ №

Московский инженерно-физический институт
(государственный университет)
115409, Москва, Каширское ш. 31.

Типография издательства «Тривант»
г. Троицк

Цель: ознакомление с методом характеристики пористых веществ путем заполнения – вытекания несмачивающей жидкостью из пространства пор; получение и анализ зависимостей заполнения – вытекания; определение удельного объёма и распределения пор по размерам, определение энергетических характеристик процессов заполнения и вытекания несмачивающей жидкости из пористого вещества.

ВВЕДЕНИЕ

Процессы взаимодействия жидкостей с поверхностью твердых тел исследуются не один десяток лет. С точки зрения термодинамики различают два основных характера взаимодействия жидкости с поверхностью твердого тела: смачивание (растекание жидкости по поверхности с образованием пленки), в этом случае поверхность считается фильной по отношению к жидкости, и несмачивание, тогда поверхность называют фобной к данной жидкости [1]. Причины такого взаимодействия жидкости с поверхностью связаны с химическим составом как жидкости, так и поверхности твердого тела, обуславливающим притяжение или отталкивание молекул (или атомов) жидкости и поверхности. С широким внедрением в различные технологии пористых тел возникла необходимость определения структуры пористых веществ и механизмов взаимодействия жидкостей с их внутренней поверхностью. Одно из перспективных направлений фундаментальных исследований в этой области связано с разработкой устройств для поглощения и аккумулярования механической энергии [2,3]. Такие устройства могут быть созданы на основе явления заполнения несмачивающей жидкостью нанопористого тела.

Согласно классификации пористых тел по размерам пор и значению удельной поверхности все пористые тела разделяются на три класса по значениям размеров пор и удельной поверхности. Макропористые тела с размером пор, эффективные радиусы которых превышают 1000 – 2000 Å. Удельная поверхность таких пористых тел не превышает 2 м²/г. Мезопористые тела с размером пор в пределах 20 – 1000 Å. Удельная поверхность таких пористых тел достигает 400 м²/г. Микропористые тела с эффективными размером пор меньше 20 Å (молекулярные сита). Удельная поверхность, в

геометрическом смысле, может достигать в таких пористых телах до $1000 \text{ м}^2/\text{г}$. Данная классификация основана на различии механизмов адсорбции газов в пористых телах в зависимости от размера пор. Однако данная классификация не характеризует структуру пористого пространства пористых тел. Обладая, в общем случае, произвольной формой и размерами, поры в пористом теле могут образовывать как случайные связанные структуры (например силикагели), так и упорядоченные решетки (опалы, цеолиты – поликристаллические пористые тела сложных оксидов), иметь изотропную и анизотропную направленность. Определение структуры пористого пространства пористых тел является одной из важнейших экспериментальных задач, поскольку в зависимости от структуры пористого пространства процессы заполнения и вытекания жидкости из пористого тела могут протекать различным образом.

Одним из хорошо изученных и широко применяемых методов исследования структуры пористых тел является ртутная порометрия. Исследования проводятся путем вдавливания ртути под давлением в поры исследуемого образца и измерением зависимости изменения объема системы ртуть – образец от давления в системе. Обработка экспериментальных данных с использованием различных моделей и приближений [4-8] позволяет определить удельный объем пор, удельную площадь поверхности пор и функцию распределения пор по размерам, определяемую как объем, занимаемый порами в интервале радиусов пор от r до $r+dr$.

Основным преимуществом ртутной порометрии является фобность ртути практически к любой поверхности, но большая величина поверхностного натяжения приводит к высоким давлениям в эксперименте, что не всегда возможно для пористых веществ на основе полимеров. Высокие давления также искажают картину заполнения вследствие сжатия образца до заполнения ртутью. Для решения такого типа задач используют жидкости с меньшим поверхностным натяжением, например воду. В случаях гидрофильности поверхности для придания ей гидрофобных свойств используют методы модификации поверхности [9].

В стандартной ртутной порометрии обработка экспериментальных данных основывается на следующих предположениях. Во-первых, каждая пора в пористом теле соединена с поверхностью или напрямую или через пору большего размера. Во-вторых, поры

не являются «бутылочными» (не имеют узких горловин). В-третьих, поры цилиндрические. Связь между давлением заполнения p и радиусом пор r определяется из уравнения Лапласа:

$$p = -\frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \varphi}{r}, \quad (1)$$

где σ – поверхностное натяжение жидкости на воздухе, φ – контактный угол смачивания.

Функция распределения пор по размерам восстанавливается согласно зависимости объема зашедшей в пористое тело жидкости от давления. Пусть объем жидкости dV зашел в пористое тело, заполнив поры в интервале радиусов от r до $r+dr$. Тогда, согласно определению функции распределения пор по размерам имеем:

$$dV(r) = -f(r) dr, \quad (2)$$

где $f(r)$ – функция распределения пор по размерам. Поскольку под dV подразумевается объем жидкости, подлежащий измерению, он имеет обратный знак по отношению к объему жидкости, зашедшему в поры, чем и объясняется знак в правой части выражения (2). Поскольку экспериментально измеряемой является зависимость объема жидкости от давления, необходимо перейти в выражении (2) от радиусов пор к давлению. Выражая радиус r из (1), и подставляя в (2), для функции распределения $f(r)$ имеем:

$$f(r) = \frac{p^2}{2\sigma \cos \theta} \frac{dV}{dp}. \quad (3)$$

При этом связь давления с радиусом поры определяется соотношением (1). Таким образом, в методе ртутной порометрии функция распределения пор по размерам однозначно определяется зависимостью зашедшего в поры объема жидкости от давления $V(p)$.

Метод ртутной порометрии является одним из основных методов определения структуры пористых тел и их характеристик. Однако предположения, лежащие в основе метода, существенно сужают область его применения. Так, в последнее время при изучении процессов заполнения-вытекания несмачивающей жидкости из пористых тел был обнаружен ряд новых физических эффектов, таких как гистерезис заполнения-вытекания и невытекание ртути из пор после снятия избыточного давления до атмосферного. Восста-

новление характеристик пористых тел, для которых проявляются такие эффекты, с помощью метода ртутной порометрии невозможно, поскольку зависимость $V(p)$ для таких тел неоднозначна. В этом случае для восстановления характеристик пористого тела необходимо отказаться от предположений, лежащих в основе метода ртутной порометрии, и использовать модель, адекватно описывающую явления гистерезиса и невытекания. Одна из таких моделей предложена в [10] и основана на теории перколяции. Оказалось, что в рамках такого подхода удается с единых позиций объяснить явления гистерезиса и невытекания жидкости из пористого тела. При этом процессы заполнения и вытекания жидкости из пористого тела носят пороговый характер, а давления, при которых начинаются эти процессы, служат дополнительными характеристиками пористого тела наряду с пористостью, удельным объемом пор и т.п.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Исследование системы «несмачивающая жидкость – нанопористое тело» проводится в камере высокого давления (далее КВД или камера), схема которой представлена на рис. 1. Конструкция камеры позволяет проводить измерения при увеличении внутреннего давления до 1000 атм. Камера представлена в сборе и состоит из корпуса 1, пробки 2, резинового кольцевого уплотнения 3, крышки 4, штока 5, уплотнений 6, также внутри показано пористое тело 7 в проницаемом для жидкости 8 контейнере 9. Корпус 1, пробка 2 и крышка 4 изготовлены из титанового сплава. Максимально возможный объем пористого тела составляет $\sim 20 \text{ см}^3$. Свободный объем камеры закрытой пробкой 2, без пористого тела 7 составляет 60 см^3 .

Измерение давления в камере и изменения внутреннего объема камеры проводилось на стенде, схема которого приведена на рис. 2. Две металлические плиты 1 и 2 жестко связаны друг с другом с помощью несущих штанг 3. Штанги являются также направляющими для подвижной платформы 4, которая может перемещаться между плитами 1 и 2.

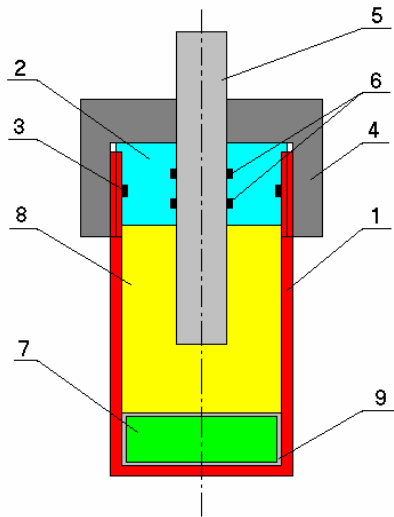


Рис. 1. Камера высокого давления

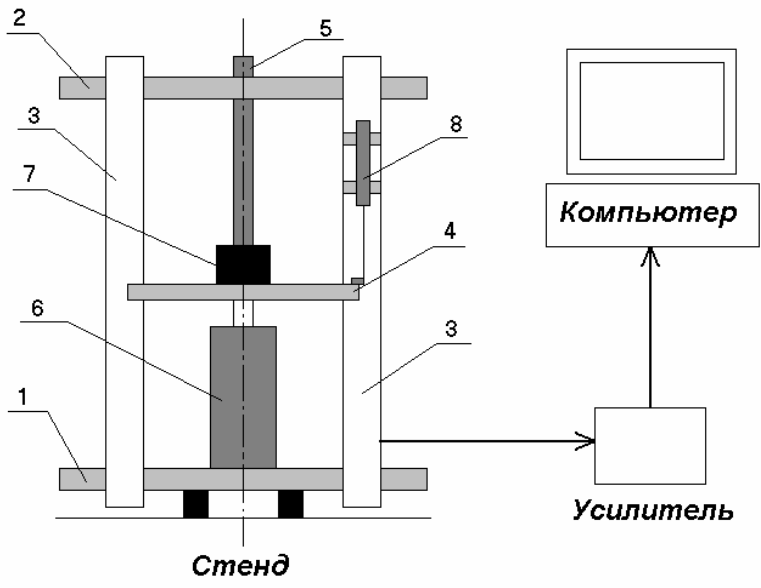


Рис. 2. Экспериментальный стенд

Дополнительная жёсткость стенда в горизонтальной плоскости обеспечивается при движении платформы 4 двумя направляющими стержнями 5. Перемещение платформы в вертикальном направлении происходит с помощью домкрата 6 установленного на нижней плите 1. Камера высокого давления устанавливается на тензометрический датчик силы 7, расположенный на платформе 4, таким образом, чтобы шток камеры упирался в верхнюю плиту 2. Движение платформы вверх приводит к входу штока в камеру и росту давления в ней. При этом датчик 7 регистрирует силу F , с которой груз действует на шток и, следовательно, давление в камере $p=F/S$, где S – площадь штока. Для используемого в работе штока диаметром 1 см $S = 7.85 \cdot 10^{-1} \text{ см}^2$. При движении платформы вниз шток выходит из камеры и давление в ней падает. Измерение перемещения платформы и, соответственно, глубины вхождения штока в камеру осуществляется с помощью реохордного датчика перемещений 8 ползункового типа. Датчик 8 закреплён на штанге 3, а движение ползунка происходит с помощью связанного с ним штока, свободный конец которого закреплён на платформе 4. Пределы измерений датчика силы составляют от 10 до 20000 Н. Свободный ход датчика перемещения составляет 0.1 м, что соответствует максимальному изменению объёма равному 7.85 см^3 . Показания датчика силы 7 и перемещений 8 через усилитель поступают на АЦП и регистрируются ЭВМ с частотой $\sim 1 \text{ кГц}$. После программной обработки информации данные записываются в виде файла, используя который, можно в графическом виде выводить на экран монитора зависимость изменения объёма камеры и системы «несмачивающая жидкость – нанопористое тело» от давления.

Типичная экспериментальная зависимость превышения давления p над атмосферным давлением от изменения объёма $-\delta V$ представлена на рис. 3. Линейный участок (кривая I) соответствует изменению объёма, связанного с упругой деформацией незаполненного пористого тела, камеры и жидкости. При давлениях $p > p_1$ в точке 1 наблюдается значительное уменьшение объёма системы при росте давления связанное с заполнением пор жидкостью. Изменение объёма системы, за счет упругого сжатия пористого тела, при увеличении давления от p_1 до p_2 обычно составляет $\leq 3\%$. На давлениях выше p_2 также наблюдается линейный участок

соответствующий сжатию заполненного пористого вещества, камеры и жидкости. При понижении давления (кривая II) происходит увеличение объема системы и выход жидкости из пор пористого вещества. При повторном повышении давления $0' - 2$ (кривая III) уменьшение объема системы как видно из рисунка начинается в точке $0'$. Отрезок $0-0'$ соответствует объёму жидкости, оставшейся в порах при нулевом избыточном давлении. Зависимость для повторного выхода жидкости повторяет зависимость II первого цикла.

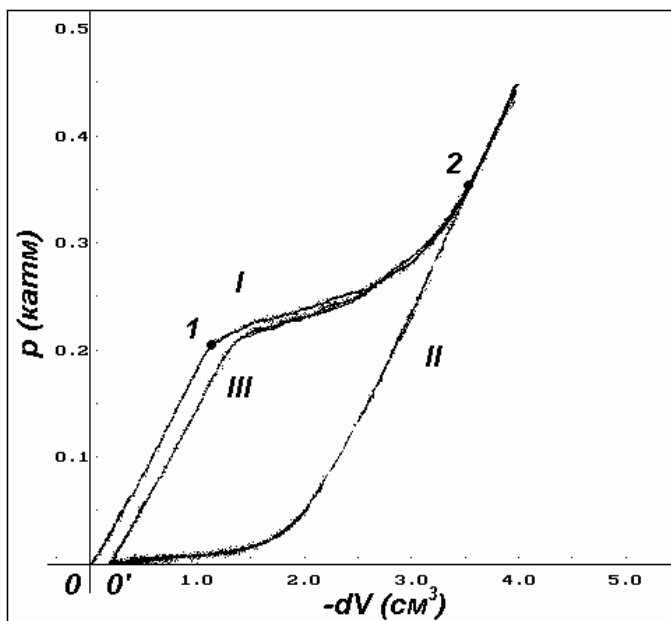


Рис. 3. Типичная зависимость изменения объёма от давления для двух циклов заполнения – вытекания (ориентация осей изменена)

Поскольку изменение внутреннего объёма камеры при движении штока связано как с заполнением пространства пор в гранулах пористого вещества, так и с упругими деформациями корпуса камеры, жидкости и пористого вещества для получения истинной картины заполнения необходимо определить абсолютные сжимае-

мости образца пористого тела при давлении, меньшем порогового давления начала заполнения пор, а также сжимаемость жидкости и камеры. Для оценок зависимости изменения объёмов от давления пористого тела до заполнения, жидкости и корпуса камеры рассматриваются в линейном приближении как независимые.

РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Ознакомиться с установкой для исследования пористых веществ путем заполнения пространства пор несмачивающей жидкостью и с методикой получения зависимостей изменения объёма системы от давления.

2. Получить зависимости изменения объёма от давления исследуемой системы по два цикла заполнения – вытекания для трёх температур.

3. На основе полученных экспериментальных данных определить сжимаемость пористого тела, удельный объём пор, энергию заполнения в каждом из циклов, долю оставшейся в пористом теле жидкости в зависимости от температуры.

4. Для данных, полученных при комнатной температуре, восстановить функцию распределения пор по методике, которая применяется в ртутной порометрии и модели, предложенной в [10].

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить компьютер и усилитель.

2. На весах отмерить навеску в 3 г для исследуемого образца пористого вещества.

3. Поместить пористое вещество 7 в проницаемый для несмачивающей жидкости контейнер 9 и закрыть его.

4. Поместить контейнер 9 с пористым веществом на дно корпуса 1 камеры высокого давления.

5. Заполнить камеру несмачивающей жидкостью 8. **Внимание: в случае работы с агрессивными жидкостями необходимо использовать резиновые перчатки и защитные очки!**

6. Вставить в корпус 1 пробку 2 и зафиксировать её крышкой 4.

7. По необходимости с помощью шприца добавить или уменьшить количество несмачивающей жидкости до нижнего уровня пробки 2.

8. В отверстие пробки 2 вставить шток и с усилием на него надавить.

9. Вынуть шток и в случае необходимости долить несмачивающую жидкость до нижнего уровня пробки 2 (п. 8 и 9 выполняются для удаления воздуха из межгранульного пространства пористого вещества).

10. Повторять п. 8 и 9 до момента фиксации уровня жидкости в камере.

11. До упора вставить шток в камеру.

12. Готовую к эксперименту камеру установить на датчик силы 7 (см. рис. 2)

13. С помощью домкрата выставить платформу 4 так, чтобы свободный конец штока камеры упирался в верхнюю плиту 2 (см. рис. 2).

14. Запустить программу «qstktest.exe»

15. После инициализации и определения начальных значений датчиков силы и перемещения программа готова к работе. На экране будут изображены координатные оси, где вертикальная ось – ось давлений P (катм), горизонтальная ось – ось изменения объёма V (см^3).

16. С помощью домкрата осуществить подъём платформы 4, при этом шток будет входить внутрь камеры и увеличивать в ней давление за счёт уменьшения внутреннего объёма. В режиме реального времени на экране будет строиться зависимость $P(V)$. Увеличение давления производить до значения 0.5 катм (рис. 4).

17. Нажать на клавиатуре компьютера клавишу «Z». В правом верхнем углу произойдет изменение надписи «Нагр» на «Разг».

18. С помощью домкрата осуществить спуск платформы 4 до тех пор, пока шток выходит из камеры под действием внутреннего избыточного давления и касается свободным концом верхней плиты 2. Давление в камере должно уменьшиться до 0 атм.

19. Нажать на клавиатуре компьютера клавишу «Z». В правом верхнем углу произойдет изменение надписи «Разг» на «Нагр».

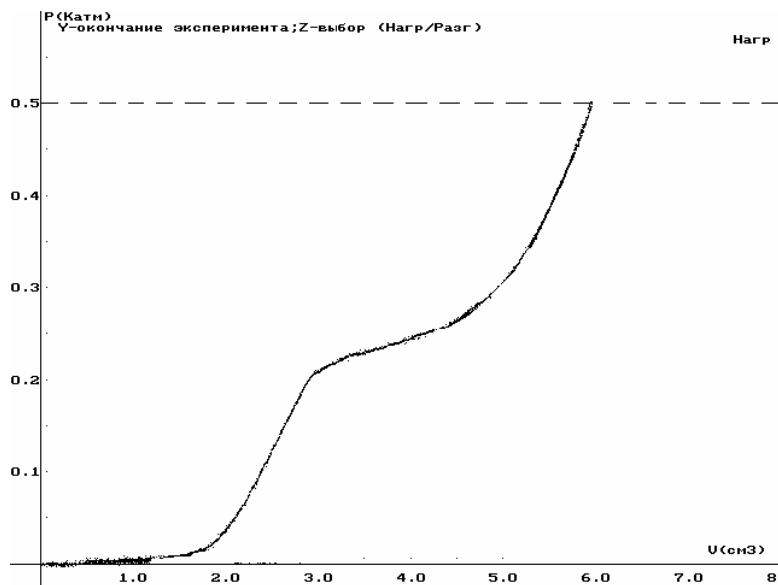


Рис. 4. Вид программы «qstktest.exe» после увеличения давления в камере до 0.5 катм

20. Повторить п. 16 – 18. После двух циклов заполнения – вытекания экспериментальные зависимости будут иметь вид представленный на рис. 5.

21. Нажать на клавиатуре компьютера клавишу «Y». На вопрос о сохранении результатов, также нажать клавишу «Y». Ввести имя файла в виде «№ семестра № группы № по списку № эксперимента» (по два знака на номер) например «06030101». Записать название файла. Нажать «Enter». На вопрос о добавлении комментариев нажать клавишу «Y». В качестве комментариев указать номер образца пористого вещества, массу пористого вещества, несмачивающую жидкость, температуру системы «пористое вещество – несмачивающая жидкость» в эксперименте. После окончания ввода комментариев нажать «Enter» и программа автоматически завершится.

22. Убрать камеру со стенда и поставить её на лабораторный стол.

23. Разобрать камеру и утилизировать её содержимое (пористое вещество и несмачивающую жидкость) в следующей последовательности. Вытащить шток, открутить и снять крышку, вставить шток в отверстие пробки и надавить на него до максимального вхождения в камеру, при этом пробка частично выйдет из корпуса камеры за счёт увеличения внутреннего давления. Попробовать вытащить пробку вместе со штоком. Если пробка не вытаскивается, вытащить шток, придерживая пробку, и повторно вставить в отверстие пробки шток до упора (в некоторых случаях может потребоваться добавление жидкости в камеру). Вытащить пробку со штоком. Удалить пористое вещество и несмачивающую жидкость из камеры. Промыть корпус, пробку, крышку и шток дистиллированной водой. Просушить корпус, пробку, крышку и шток.

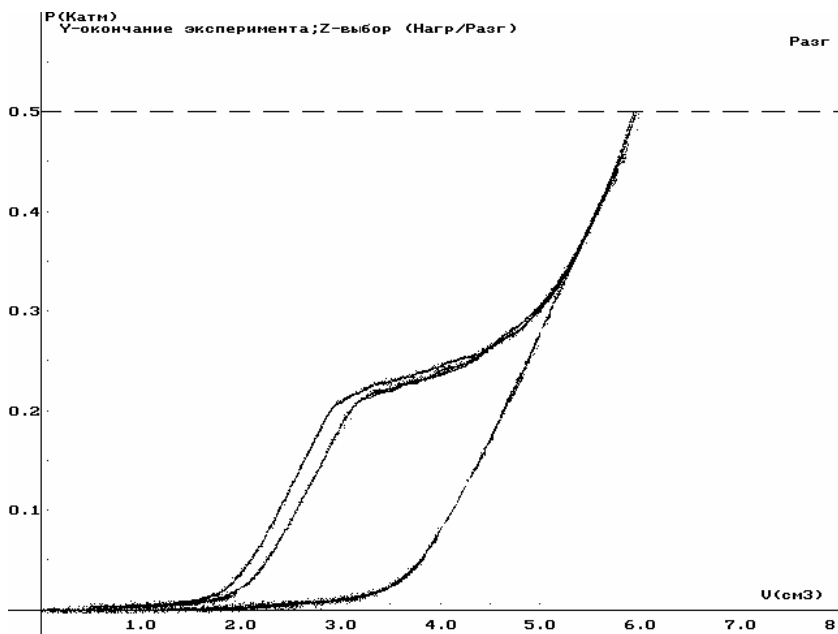


Рис. 5. Вид программы «qstktest.exe» после двух циклов заполнения – вытекания

24. Провести измерения для температуры ниже и выше комнатной в соответствии с указанием преподавателя, ведущего лабораторные занятия п.25 - 33.

25. Для каждой из температур повторить п. 2 – 10.

26. Поместить камеру и ёмкость с несмачивающей жидкостью в термостат или заменяющее его устройство.

27. Осуществить прогрев или охлаждение камеры и ёмкости с несмачивающей жидкостью до заданной температуры.

28. По необходимости вследствие изменения объёмов компонентов системы при изменении температуры добавить или удалить излишки жидкости с помощью шприца.

29. Проложить на датчик силы термоизолирующую прокладку.

30. До упора вставить шток в камеру.

31. Установить на корпус и крышку камеры теплоизолирующий кожух.

32. Повторить п. 12 – 22.

33. Снять теплоизолирующий кожух. Вытащить шток и изменить температуру в камере после эксперимента. Далее продолжить выполнение п. 23.

34. Записать на личный носитель информации (дискету или флеш-накопитель) результаты экспериментов и в дальнейшем их обработать.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Определить сжимаемость системы камера + жидкость и сжимаемость незаполненного пористого тела.

1.1 Запустить программу «labobr.exe» для первоначальной обработки данных.

1.2 Ввести имя файла (см. п. 21) и нажать «Enter».

1.3 На вопрос о введении значения для упругой деформации ввести «0» и нажать «Enter».

1.4 В появившемся окне (см. рис. 6) с помощью курсора (первоначальное положение курсора – начало координат) отметить 6 точек на участках зависимостей связанных с упругой деформацией. Координаты курсора при движении указываются в верхнем правом угле экрана. В качестве дополнительной информации на экране указываются комментарии к файлу и имя файла. Выбор точки осу-

существляется клавишей «Пробел». Точки 1 и 2 отмечаются на участке сжатия незаполненного пористого вещества, камеры и жидкости. Точки 3 и 4 на участке сжатия частично заполненного пористого вещества, камеры и жидкости. Точки 5 и 6 на участке сжатия заполненного пористого вещества, камеры и жидкости. После выбора точки её координаты и номер, также выводятся на экран.

1.5 После выбора точек записать их координаты.

1.6 Рассчитать сжимаемости χ на каждом из участков, например, для точек 1 и 2 по формуле:

$$\chi_{1,2} = \frac{V_2 - V_1}{P_2 - P_1}, \quad (4)$$

где V_1 и P_1 , V_2 и P_2 – координаты первой и второй точек соответственно. Для точек 3, 4 и 5, 6 расчет также по формуле (4).

1.7 Сравнить полученные сжимаемости $\chi_{1,2}$, $\chi_{3,4}$ и $\chi_{5,6}$.

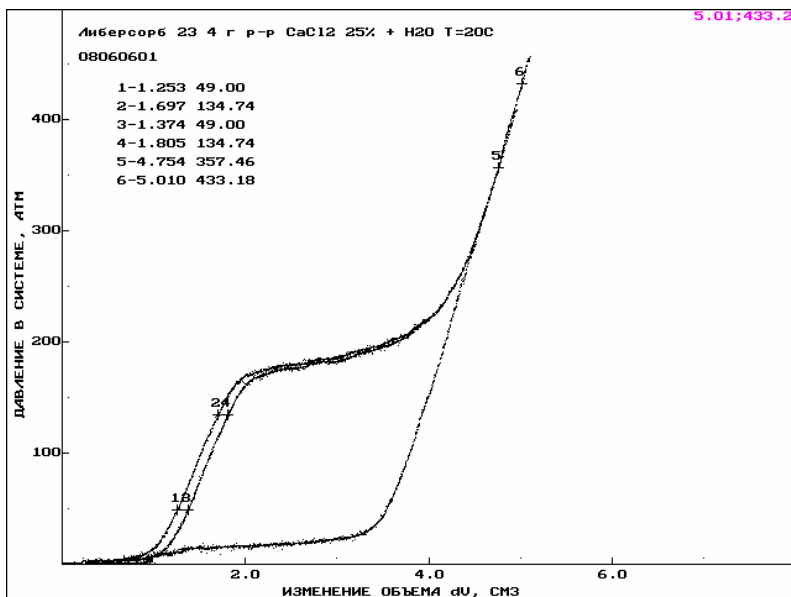


Рис. 6. Вид программы «labobr.exe» после считывания данных из файла и выставления требуемых точек

1.8 Определить абсолютную χ_{abs} сжимаемость пористого вещества по формуле

$$\chi_{abs} \cong \chi_{1,2} - \chi_{5,6}. \quad (5)$$

2. Определить удельный объём пор пористого вещества V_{por} , долю жидкости θ , оставшейся в порах пористого вещества после уменьшения давления до атмосферного, относительную χ_{rel} сжимаемость пористого вещества, удельную энергию заполнения в первом цикле E_1^{in} , удельную энергию заполнения во втором цикле E_2^{in} , удельную энергию вытекания E^{out} и удельную диссипированную энергию в первом E_1^{dis} и во втором циклах E_2^{dis} .

2.1. Запустить программу «labobrm.exe» для последующей обработки данных.

2.2. Ввести имя файла (см. п. 21) и нажать «Enter».

2.3. На вопрос о введении значения для упругой деформации ввести значение $\chi_{5,6}$ и нажать «Enter» (обратите внимание на размерность).

2.4. В появившемся окне (рис. 7) представлены экспериментальные зависимости за вычетом упругой деформации камеры и жидкости, что в случае правильного определения сжимаемостей данных компонентов выражается в вертикальном отрезке после заполнения пор пористого вещества жидкостью. С помощью курсора (первоначальное положение курсора – начало координат) отметить три точки на участках зависимостей связанных с упругой деформацией. Координаты курсора при движении указываются в верхнем правом угле экрана. В качестве дополнительной информации на экране указываются комментарии к файлу и имя файла. Выбор точки осуществляется клавишей «Пробел». Точки 1 и 2 отмечаются на участках сжатия незаполненного и частично заполненного пористого вещества в начале отклонения зависимостей на данных участках от линейных. Точка 3 выбирается на начале вертикального участка сжатия заполненного пористого вещества. После выбора точки её координаты и номер выводятся на экран.

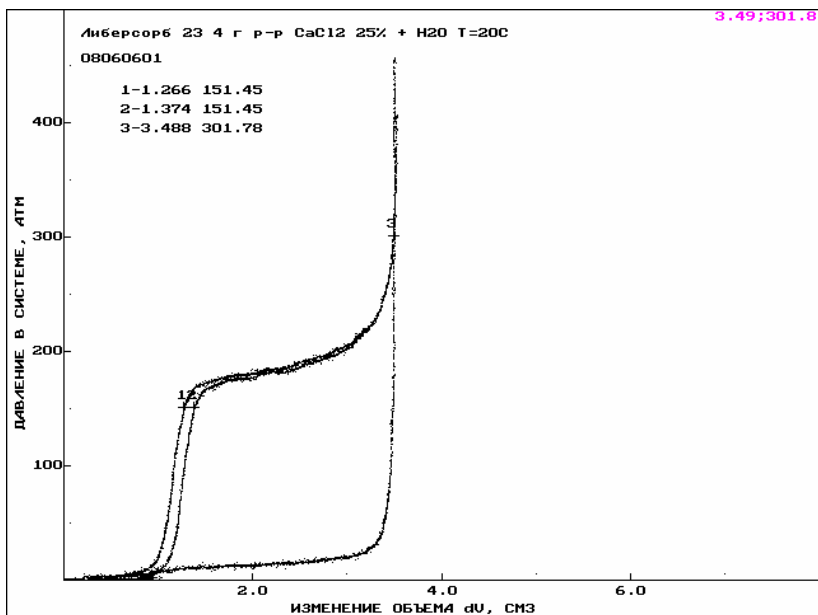


Рис. 7. Вид программы «labobrm.exe» после считывания и коррекции данных из файла на сжимаемость камеры и жидкости, и выставления требуемых для расчёта точек

2.5. После выбора точек записать их координаты.

2.6. Нажать любую клавишу и записать автоматически рассчитанные по обработанным экспериментальным зависимостям энергию заполнения в первом цикле, энергию заполнения во втором цикле и энергию вытекания. Энергия определяется как площадь под заданным участком экспериментальной зависимости. Расчет энергий ведётся по экспериментальным точкам методом трапеций.

2.7. Повторно нажать любую клавишу, что приведёт к завершению работы программы и формированию трёх файлов с расширениями «.in1», «.in2» и «.out». Данные файлы будут нужны для восстановления функции распределения пор по размерам.

2.8. Определить удельный объём пор пористого вещества как:

$$V_{por} = \frac{V_3 - V_1}{m}, \quad (6)$$

где V_1 и V_3 – координаты точек 1 и 3 соответственно, m – масса образца пористого вещества.

2.9. Определить долю жидкости, оставшейся в порах пористого вещества после уменьшения давления до атмосферного, по формуле:

$$\theta = 1 - \frac{V_3 - V_2}{V_3 - V_2}. \quad (7)$$

2.10. Определить относительную χ_{rel} сжимаемость пористого вещества как:

$$\chi_{rel} = \frac{\chi_{abs}}{V_{pb}}, \quad (8)$$

где V_{pb} – объём образца пористого вещества, определяемый как:

$$V_{pb} = m \cdot (V_s + V_{por}) = m \cdot \left(\frac{1}{\rho_s} + V_{por} \right), \quad (9)$$

здесь V_s и ρ_s – объём и плотность каркаса пористого вещества соответственно.

2.11. Вычислить удельные энергии заполнения в первом и во втором циклах и удельную энергию вытекания, поделив записанные значения из эксперимента на массу образца пористого вещества.

2.12. Вычислить удельные диссипированные энергии в первом и во втором циклах как разность между удельными энергиями заполнения и удельной энергией вытекания.

3. Восстановить функцию распределения пор по размерам.

3.1. Запустить программу для восстановления функции распределения пор по размерам.

3.2. Для восстановления распределения пор по размерам согласно стандартной методике, применяемой в ртутной порометрии, ввести название файла (см. п. 21), указать значения для поверхностного натяжения жидкости и контактный угол смачивания.

3.3. Для восстановления распределения пор по размерам по модели, предложенной в [10], ввести название файла (см. п. 21), указать значения для поверхностного натяжения жидкости и порис-

$$\phi = \frac{V_{por}}{V_{pb}}, \text{ варьируя параметры функции распределения и}$$

поверхностного натяжения на границе раздела «жидкость – твердое тело», добиться совпадения расчетных и экспериментальных зависимостей.

3.4. Сравнить полученные функции распределения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково назначение элементов установки?
2. Какие физические предположения лежат в основе метода ртутной порометрии?
3. Каковы достоинства, недостатки и область применимости метода ртутной порометрии?
4. Что такое функция распределения пор по размерам?
5. Опишите методику восстановления функции распределения пор по размерам, применяемой в методе ртутной порометрии.
6. Что такое смачивающая и несмачивающая жидкости?

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА УСТАНОВКЕ

1. К работе допускается только персонал, прошедший инструктаж по работе с электроустановками.
2. Соблюдайте правила безопасности, касающиеся анализируемых проб и используемых жидкостей.
3. Запрещается самостоятельно производить какие-либо изменения в конструкции прибора и его электронной схеме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Де Жен П.Ж., Смачивание: статика и динамика// УФН, 1987. т. 151. в. 4. с. 619.
2. Bogomolov V.N., Capillary phenomena in extremely thin zeolite channels and metal-dielectric interaction// Phys. Rev. B, 1995. v. 51. № 23. p. 17040.
3. Борман В.Д., Белогорлов А.А., Грехов А.М., Тронин В.Н., Троян В.И., Лисичкин Г.В. О механизме аккумулялирования механической

4. Sean P. Rigby, Robin S. Fletcher, and Sandra N. Riley, Characterization of Macroscopic Structural Disorder in Porous Media Using Mercury Porosimetry// J. of Coll. and Int. Sci. 2001. v. 240. p. 190.
5. F. Morol and H. Bohni, Ink-Bottle Effect in Mercury Intrusion Porosimetry of Cement-Based Materials// J. of Coll. and Int. Sci. 2002. v. 246. p. 135.
6. Juan Luis Pérez Bernal and Miguel Angel Bello, Fractal geometry and mercury porosimetry Comparison and application of proposed models on building stone// Appl. Surf. Sci. 2001. v. 185. p. 99.
7. F. Porcheron, P. A. Monson and M. Thommes, Modeling Mercury Porosimetry Using Statistical Mechanics// Langmuir 2004. v. 20. p. 6482.
8. F. Porcheron, M. Thommes, R. Ahmad, P. A. Monson Mercury Porosimetry in Mesoporous Glasses: A Comparison of Experiments with Results from a Molecular Model// Langmuir 2007. v. 23. p. 3372.
9. Химия привитых поверхностных соединений/ Под ред. Г.В. Лисичкина, — М., Физматлит, 2003, — 592 с.
10. Борман В.Д., Белогорлов А.А., Грехов А.М., Тронин В.Н., Троян В.И., Лисичкин Г.В.. Перколяционный переход при заполнении нанопористого тела несмачивающей жидкостью// ЖЭТФ 2005. т. 127. в. 2. с. 431.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Описание лабораторной установки	6
Рабочее задание	10
Порядок выполнения работ	10
Обработка результатов	14
Контрольные вопросы	19
Список литературы	19