

## ОЦЕНКА ПОРИСТОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПО ВЕЛИЧИНЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРИВЕДЕННОГО РАССЕЯНИЯ

В работе предлагается оценивать пористость материалов объемных образцов по величине коэффициента приведенного рассеяния. Представлена рентгенооптическая схема метода измерений и структурная схема экспериментальной установки. Показано, что коэффициент приведенного рассеяния линейно зависит от пористости.

**Ключевые слова:** рентгеновское излучение, пористость, коэффициент приведенного рассеяния.

Одним из параметров, определяющих физические свойства керамических материалов, является их пористость. Однако известные методы определения пористости, как правило, предполагают непосредственное воздействие на исследуемый образец, в результате которого его дальнейшее использование уже невозможно. Кроме того, имеется ряд специфических ограничений, сужающих область применения каждого метода. Так, методом водопоглощения оценивается только открытая пористость, метод количественной материалогрфии предполагает исследование лишь поверхности твердых тел, метод ртутной порометрии чувствителен к смачиваемости поверхности, метод малоуглового рассеяния применим только для малых объемов вещества.

Проблема оценки интегральной пористости твердых материалов неразрушающим методом рассматривалась в работе [1], где было предложено оценивать пористость по радиографическим рентгеновским изображениям. При прохождении рентгеновского излучения через образец локальные неоднородности в виде пор модулируют пучок по интенсивности, что приводит к формированию за образцом проекционного изображения, по которому предлагается оценивать пористость. Но поскольку модуляция пучка по интенсивности может быть обусловлена, в том числе наличием и более плотных включений, данная методика может приводить к неоднозначным результатам.

Тем не менее идея оценки интегральной пористости объемных образцов путем их просвечивания может получить дальнейшее развитие, если учесть, что процесс ослабления рентгеновского излучения сопровождается возбуждением в объеме образца вторичного излучения, обусловленного рассеянием первичного пучка и возбуждением флуоресцентного излучения. Соотношение интенсивностей рассеянного и ослабленного образцом излучений будет определяться параметрами образца и его интегральной пористостью.

В качестве критерия, по которому можно судить о пористости, предлагается ввести коэффициент приведенного рассеяния, определяемый отношением интенсивности рассеянного излучения к интенсивности излучения, ослабленного материалом образца.

Для измерения коэффициента приведенного рассеяния предлагается рентгенооптическая схема, приведенная на рисунке 1.

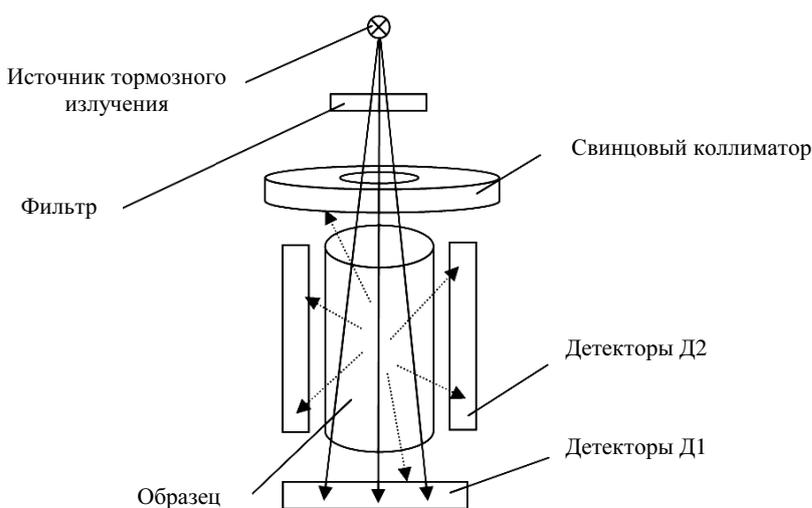


Рисунок 1. Рентгенооптическая схема метода измерения коэффициента приведенного рассеяния

Согласно схеме, исследуемый образец является источником вторичного излучения, регистрируемого детекторами Д1 и Д2. Детектор Д1 при этом регистрирует также и первичное излучение, ослабленное образцом.

Был разработан вычислительный алгоритм (рисунок 2), позволяющий имитировать физические процессы, протекающие в объеме

образца при падении на него рентгеновского пучка, и установить характер зависимости коэффициента приведенного рассеяния от пористости материала образца при заданных эффективном атомном номере материала образца, факторе формы образца – отношении высоты образца к его радиусу и граничной энергии в спектре тормозного излучения рентгено-

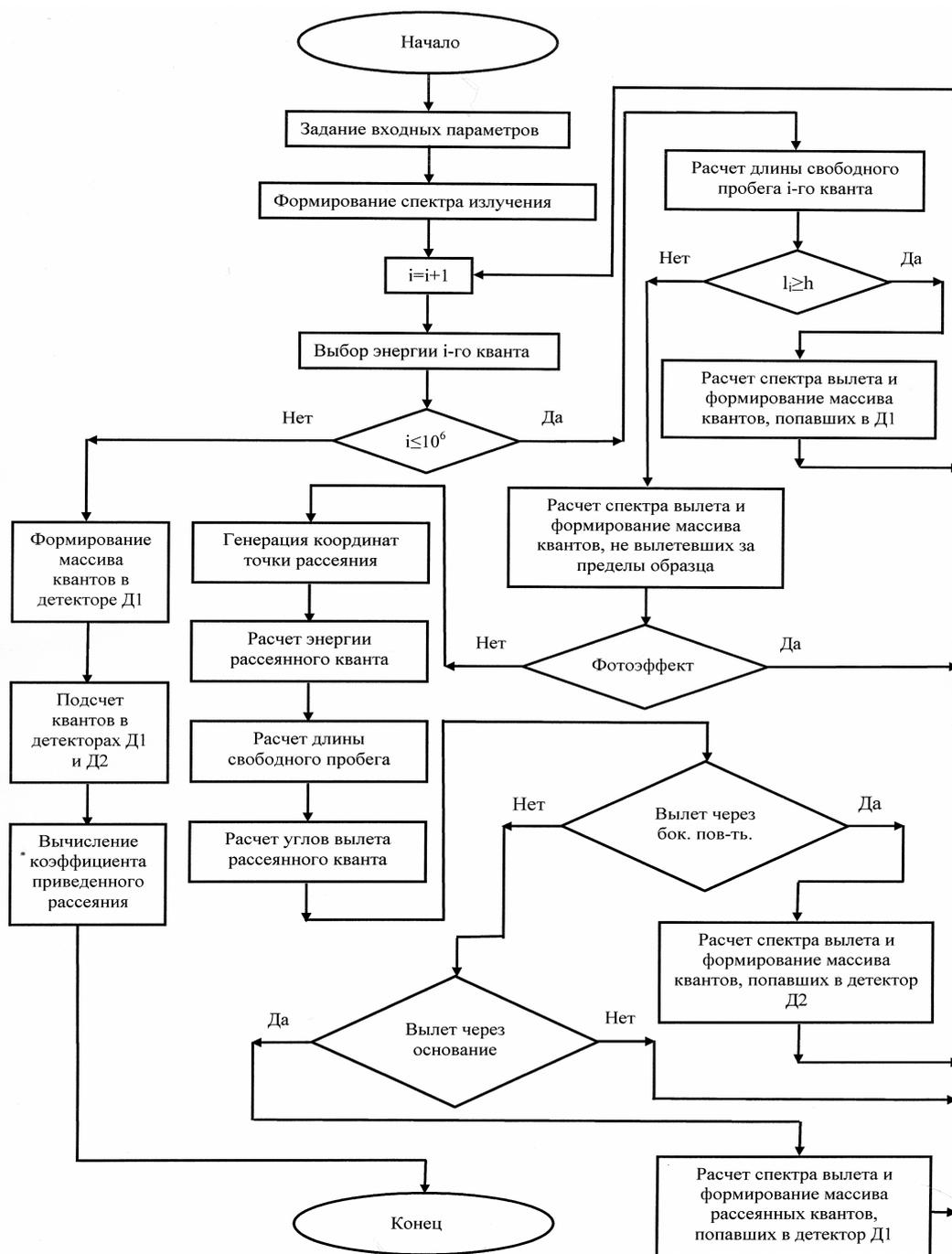


Рисунок 2. Алгоритм работы программы имитационного моделирования

вской трубки. Расчет осуществлялся в среде математического моделирования MahtCAD. Для формирования массива энергий квантов, имеющих спектральное распределение, соответствующее излучению рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом на выходе алюминиевого фильтра, использовался программный модуль XRTS.xmcd [2]. Сечения взаимодействия квантов рентгеновского излучения с веществом рассчитывались с помощью модуля TAC.xmcd [3]. Вероятность Комптоновского рассеяния и угловое распределение рассеянных квантов задавались формулой Клейна-Нишины-Тамма [4]. Расчет длины свободного пробега квантов в материале образца выполнялся согласно алгоритму, описанному в [5]. Для получения приемлемой статистики расчета первичный спектр содержал  $10^6$  квантов.

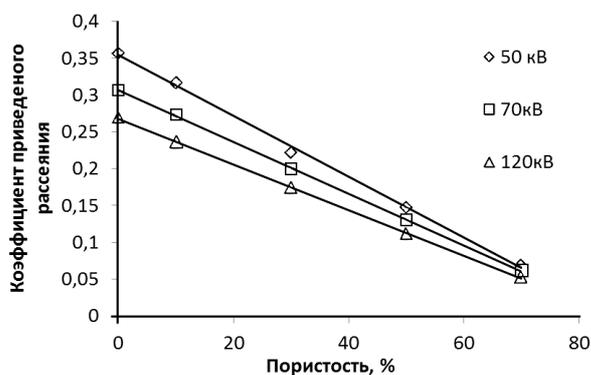


Рисунок 3. Расчетная зависимость коэффициента приведенного рассеяния от пористости материала исследуемого образца

В результате моделирования были получены зависимости коэффициента приведенного рассеяния от величины пористости для образцов с различными параметрами.

В качестве примера на рисунке 3 представлены зависимости коэффициента приведенного рассеяния от пористости материала образца, имеющего фактор формы, равный 2, и эффективный атомный номер материала, равный 7.

Нетрудно видеть, что расчетные зависимости имеют линейный характер.

Для проведения экспериментального исследования нами был разработан макет радиационного измерителя пористости.

Структурная схема экспериментальной установки, используемой для отработки макета измерителя пористости, представлена на рисунке 4.

На рисунке 4 пунктиром выделен блок первичного преобразования, реализованный как отдельный конструктивный модуль.

В качестве источника излучения использовался диагностический рентгеновский аппарат со среднечастотным питающим устройством. Сигналы с блока первичного преобразования поступали на восьмиканальный USB АЦП.

Для регистрации рентгеновского излучения использовались детекторы типа сцинтиллятор-фотодиод. Функциональная схема детекторного модуля приведена на рисунке 5.

Согласно функциональной схеме, для регистрации рентгеновского излучения исполь-

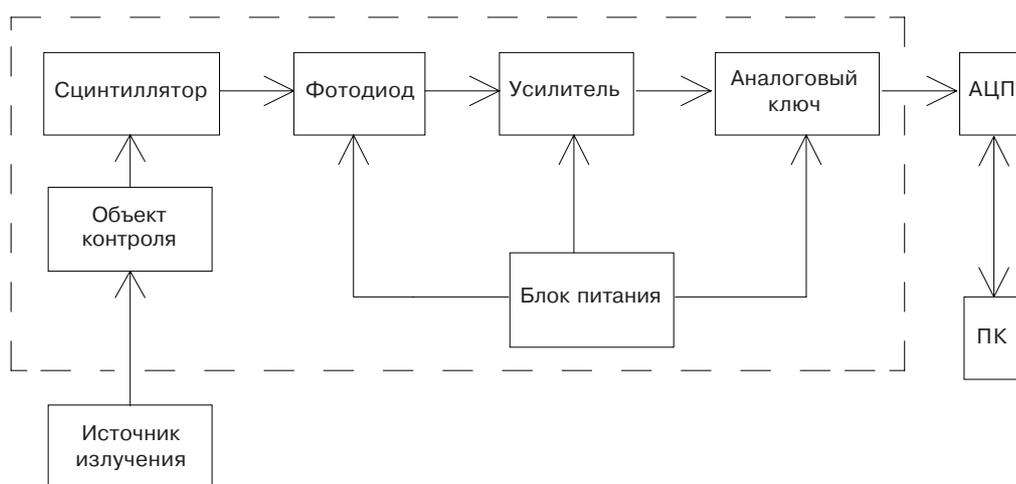


Рисунок 4. Структурная схема экспериментальной установки

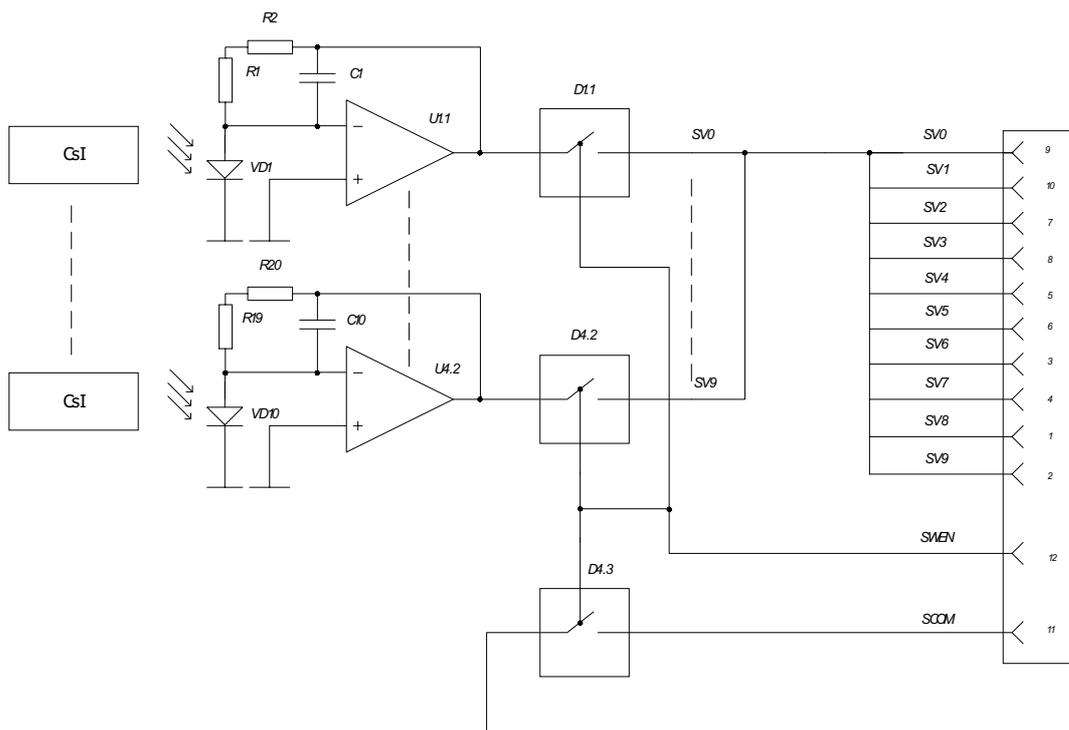


Рисунок 5. Функциональная схема детекторного модуля

зуются десять независимых каналов. Шесть детекторов регистрируют рассеянное излучение (детекторы типа Д2) и четыре детектора регистрируют излучение в прямом пучке (детекторы типа Д1). Восемь каналов детектирования использовались для измерения коэффициента приведенного рассеяния, а оставшиеся два канала использовались для контроля выходных сигналов блока первичного преобразования с помощью осциллографа.

Для формирования зависимости коэффициента приведенного рассеяния от пористости были изготовлены образцы с различной пористостью из материала с низким атомным номером. Экспериментальная зависимость коэффициента приведенного рассеяния от пористости приведена на рисунке 6. Условия проведения эксперимента: анодное напряжение – 70 кВ; суммарная фильтрация излучения – 3 мм Al.

Полученные экспериментальные зависимости имеют квазилинейный характер, что качественно согласуется с результатами моделирования.

Таким образом, в ходе выполнения исследований была предложена методика измерения

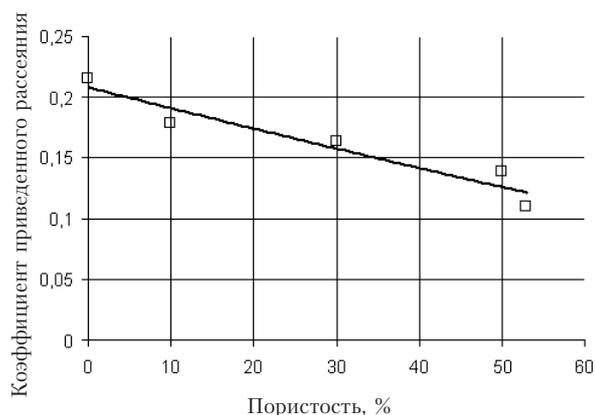


Рисунок 6. Экспериментальная зависимость коэффициента приведенного рассеяния от пористости

интегральной пористости материалов объемных образцов. Показано, что критерием для оценки пористости может служить коэффициент приведенного рассеяния; выявлена линейная зависимость коэффициента приведенного рассеяния от пористости материала образцов; создан макет радиационного измерителя пористости и проведены его предварительные испытания.

10.07.2012

**Список литературы:**

1. Каньгина О.Н., Айтимбетова А.Н. Применение рентгеновской радиографии для исследования пористой керамики // Вестник КРСУ. – 2004. – Т. 4, №4. – С. 60–63.
2. Муслимов Д.А., Лелюхин А.С. «Программа расчета приведенного спектра рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010613534 от 28.05.2010. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Россия.
3. Муслимов Д.А., Лелюхин А.С. «Модуль для расчета сечений взаимодействия квантов рентгеновского излучения с веществом». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010613532 от 28.05.2010. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Россия.
4. Черняев, А.П. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. – М.: Физматлит, 2004. – 152 с.
5. Соболев, И.М. Численные методы Монте-Карло. – М.: Наука, 1973. – 312 с.

Сведения об авторах:

**Аджиева Марина Давлетиновна**, аспирант кафедры общей физики  
Оренбургского государственного университета

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел. (3532) 372439, e-mail: fit2007@inbox.ru

**Кувшинов Николай Александрович**, студент кафедры проектирования и технологии  
радиоэлектронных средств Оренбургского государственного университета

**Лелюхин Александр Сергеевич**, доцент кафедры проектирования и технологии радиоэлектронных  
средств Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел. (3532) 372556, e-mail: fit2007@inbox.ru

**Каньгина Ольга Николаевна**, декан физического факультета Оренбургского государственного  
университета, доктор физико-математических наук, профессор

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел. (3532) 372508, e-mail: fizfak@unpk.osu.ru

**UDC 620.179.152.1**

**Adzhieva M.D., Kuvshinov N.A., Lelyukhin A.S., Kanygina O.N.**

Orenburg state university

E-mail: fit2007@inbox.ru

**EVALUATION OF POROUS MATERIALS BY MEASURING THE COEFFICIENT OF REDUCTION SCATTERING**

We propose to evaluate the porosity of bulk samples of materials to the value of the reduced scattering coefficient. Submitted by X-ray diagram of the measurement method and the block diagram of the experimental equipment. It is shown that the reduced scattering coefficient depends linearly on the porosity.

Key words: X-ray emission, porosity, reduced scattering coefficient.