

практически неограниченное количество измерений и может быть сохранен/считан в виде одного файла в XML формате.

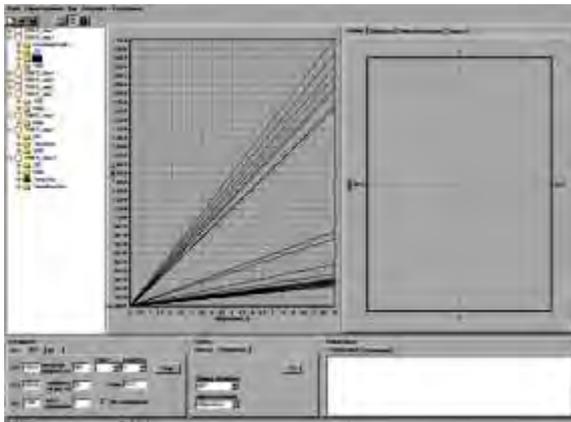


Рисунок 3 – Интерфейс программы для управления установкой измерения температурной зависимости проводимости

Кроме управления измерительными приборами в программе предусмотрен широкий спектр возможностей обработки полученных результатов измерения – от простейших математических операций с ними до специализированных операций расчета энергии активации проводимости по

результатам регистрации семейства ВАХ, измеренных при различных температурах.

Все элементы управления сгруппированы по функциональному назначению: дерево проекта, область графической визуализации данных, закладки для задания параметров для каждого типа измерений и закладки управления приборами. Настройки каждого типа измерений могут быть сохранены в отдельный текстовый файл или загружены из файла, что оказывается очень удобным при проведении типовых измерений. Область графической визуализации данных может содержать один или два графических окна (графика). Оси каждого графика могут индивидуально настраиваться на отображение определенных типов данных, что позволяет визуализировать только необходимые данные. Отличительной чертой визуализации данных является возможность одновременного отображения на одном графике произвольного количества данных путем выделения их в дереве проекта простым нажатием мыши. Это позволяет быстро сравнивать и оценивать результаты различных измерений.

Установка для измерения температурных зависимостей проводимости используется при выполнении заданий ГПНИ «Функциональные и композиционные материалы, наноматериалы» и ГПНИ «Электроника и фотоника»

УДК 620.11

## К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ТЕРМИСТОМЕТРИИ

Филиппова М.В., Матвиенко С.Н.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
Киев, Украина

Широкое внедрение в промышленность новых материалов и композиций вызывает необходимость разработки аппаратуры для исследований их теплофизических характеристик, и, в частности, теплопроводности, что продиктовано рядом причин. Прежде всего, коэффициент теплопроводности является паспортной характеристикой существующих и разрабатываемых материалов, число которых непрерывно растет.

К числу наиболее эффективных методов определения теплопроводности могут быть отнесены неразрушительные методы, позволяющие осуществлять измерения без взятия проб исследуемого материала. С их помощью есть возможность получать информацию о теплопроводности при максимальном сохранении естественной структуры материала. Кроме того, с помощью неразрушающих методов может быть достигнута наиболее высокая производительность измерений, так как они не требуют подготовки из исследуемых часто труднообрабатываемых материалов образцов заданной геометрии. Кроме

этого такие методы и средства позволяют хранить в целостности исследуемые объекты, которыми могут быть готовые изделия [1].

Для определения коэффициента теплопроводности было использовано два способа:

1. Учитывая, что мощность, которая подается на термистор, полностью рассеивается в исследуемую среду [2] (зонд полностью погружен в среду), имеем:

$$\frac{U_m^2}{4R_C} \tau F = 4\pi R T_0 \lambda \quad (1)$$

откуда определяем коэффициент теплопроводности

$$\lambda = \frac{U_m^2 \tau}{16\pi R_C R T_0} F \quad (2)$$

2. Перед определением коэффициента теплопроводности прибор необходимо откалибровать, используя материал с известным  $\lambda$ . В этом случае при равновесии моста термистор рассеивает мощность

$$Q = \frac{U_m^2}{4R_C} \tau F_0 = 4\pi RT_0 \lambda_0 \quad (3)$$

После калибровки прибор подключается к изучаемому материалу, тогда устанавливается частота  $F$ , отличная от  $F_0$ . Мощность, выделяемая на термисторе:

$$Q = \frac{U_m^2}{4R_C} \tau F = 4\pi RT_0 \lambda_x \quad (4)$$

Из формул для расчета рассеиваемой мощности и мощности, выделяемой на термисторе, получаем выражение:

$$T_0 / T = \lambda_0 / \lambda_x \Rightarrow \lambda_x = T \cdot \lambda_0 / T_0 \quad (5)$$

Полученная зависимость вида  $\lambda_x = kT$  удобная для исследований. Во избежание влияния температуры окружающей среды - начальной температуры термистора - прибор [3,4] желательно откалибровать при каждом измерении коэффициента теплопроводности.

Исследуемая и опорная жидкость размещаются в термостате, который нагревает их до температуры 30°C. После нагревания оператор погружает в измерительную среду термисторные сенсоры, включении по мостовой схеме, и запускает начало измерения на ПК.

После получения команды о начале измерения контроллер, с помощью ключа, подает напряжение на измерительные мосты в течение 6 секунд. Электрический ток, протекающий через термистор нагревает его, изменяя температуру термистора. Собственная температура термистора пропорциональна коэффициенту теплопроводности жидкости в которую он погружен. Изменение температуры приводит к изменению сопротивления термистора, а следовательно и к разбалансу измерительного моста. Разница потенциалов измерительной диагонали моста поступает на вход дифференциального усилителя, на выходе которого получаем усиленный разностной сигнал.

Разностные сигналы с усилителей первого и второго измерительного мостов подаются на вход ключа, который переключает эти сигналы на вход АЦП по команде контроллера. С АЦП сигнал в цифровом виде подается в контроллер, где он проходит предварительную статистическую обработку и хранится как массив данных до конца измерительного цикла.

За 6 секунд измерения контроллер опрашивает 240 раз каждый из мостов и накапливает и усредняет полученные данные. В течение следующих 20 секунд на измерительный мост не поступает напряжение, и термистор охлаждается. Таким образом время выполнения одного цикла составляет 26 секунд. Во время охлаждения термистора происходит передача результатов первого цикла в ПК через интерфейс RS-232.

Измерительная сессия состоит из 10 циклов и общее время измерения составляет 260 секунд. График измерительной сессии приведен на Рис. 1

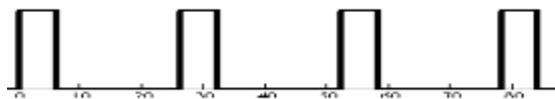


Рисунок 1

Экспериментальный выбор термисторов проводился путем исследования свойств термисторов погруженных в жидкость. В качестве стабилизатора температуры выступала вода, которая была нагрета до температуры 36°C. Контроль температуры производился с помощью электронного термометра.

В результате эксперимента было установлено, что параметры термистора 3G202 фирмы Mitsubishi, наиболее стабильны с течением времени. Кроме того этот термистор является гидроизолированным, что исключает необходимость использовать дополнительные методы изоляции выводов от измерительной жидкости.

В рамках исследования является необходимость разработки на основе полученных параметров новую установку (прибор) для проведения необходимых измерений методом термометрии для использования в любых условиях производства.

Прибор предназначен для измерений теплопроводности и теплового сопротивления различных теплоизоляционных, строительных и конструкционных материалов в диапазоне комнатной температуры.

Измеряемые характеристики: теплопроводность, тепловое сопротивление, температуропроводность, теплоемкость, энтальпия, теплота фазовых и структурных превращений, влагосодержание, криоскопическая температура, внутренние тепловые источники.

Погрешность измерений: Отвечает требованиям, предъявляемым к лабораторным исследованиям.

Степень автоматизации: Прибор оснащен специализированным контроллером, обеспечивает автоматизированное управление опытом и электронно-вычислительную обработку информации.

Конструктивное оформление: Прибор является настольным, выполнен в виде двух блоков - тепловой ячейки и контроллера.

#### Выводы

Исследования обусловлено общей необходимостью разработки новой системы и методов измерения теплопроводности жидкостей и материалов с целью определения их свойств и технологического состояния. Необходимость контроля качества изделий [5] и материалов на всех этапах производства обуславливает поиск и создание

более совершенных методов и средств неразрушающего контроля теплопроводности материалов.

С учетом приведенных данных, и исходя из поставленной задачи измерения термисторные датчиком температуры в узком диапазоне температур относительно опорной, целесообразнее использовать сравнительный метод, со стабилизацией измерительного напряжения на усилителе. Подключение измерительного датчика к измерительному осуществляется по двухпроводной схеме, поскольку изменение температуры на выводах термистора будет в узком диапазоне в окрестности рабочей точки, и не будет существенно влиять на результаты измерения. Питание измерительного моста происходит постоянным током, так как одновременно производится измерение в двух каналах, и на них будут действовать одновременно те же погрешности, что позволяет их не учитывать.

1. Калинин, А.Н. Неразрушающий сравнительный метод и интерполяционный прибор для

УДК 681.2

### ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕВЕРБЕРАЦИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДНА В ГИДРОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗОМ АПЕРТУРЫ АНТЕННЫ

Чан Тай Чонг

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

При разработке гидролокаторов мониторинга морского дна наряду с обеспечением высокой разрешающей способности на большой дальности особое внимание необходимо уделять и обеспечению высокой контрастности изображения, то есть обеспечению высокого отношения сигнал/помеха в элементе разрешения.

В движущемся ГЛ с синтезом апертуры антенны (САА) защита от реверберационных помех осуществляется естественным образом в ходе когерентного междупериодного накопления полезных сигналов, соответствующих отражениям от центров анализируемых элементов 3-мерного пространства. Междупериодное когерентное накопление в ходе движения ГЛ осуществляется на длительном интервале (единицы секунд) в соответствии с индивидуальными законами изменения фаз полезных сигналов, которые отличаются от законов изменения фаз помеховых сигналов ревербераций.

В прямоугольной системе координат  $X, Y, Z$  зона обзора, в которой будет формироваться изображение, разбивается на трехмерные блоки, соответствующие одному интервалу САА. Произвольный разрешаемый объем в блоке обозначим номером  $(j, g, h)$ , причем  $j = \overline{1; N_X}$ ,  $g = \overline{1; N_Y}$ ,  $h = \overline{1; N_Z}$ , где  $N_X, N_Y, N_Z$  - количе-

экспресс-измерений теплопроводности твердых тел на основе двухточечного зондирования поверхности [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Н. Калинин ; [Сибирский государственный ин-т метрологии] . — Новосибирск., 1994. — 5 с.

2. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. — М. : Высш. шк., 1967. — 600 с.

3. Декуша, О. Л. Прибор для для экспресс измерения коэффициента теплопроводности твердых материалов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.Л. Декуша ; [Ин-т технической теплофизики] . — Киев., 2013. — 7 с.

4. Бурова, З.А. Установка для вимірювання коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів ИТ-7С / З.А. Бурова, Л.Й. Воробийов, Л.В. Декуша, О.Л. Декуша // Метрологія та прилади. Харків, 2009. № 6. — С. 9-15.

5. Бадьин Г.М. Справочник по измерительному контролю качества строительных работ. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 464 с.

ство элементов разрешения в блоке по соответствующим осям координат.

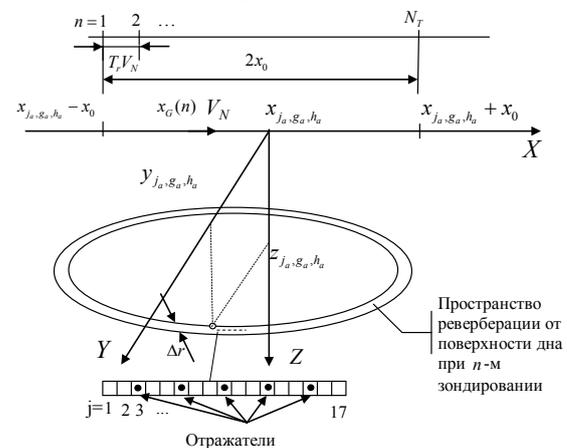


Рисунок 1 - Пояснение к определению пространства реверберации в  $n$ -ом зондировании

При обработке сигнала, отраженного от  $(j_a, g_a, h_a)$ -го разрешаемого объема, САА выполняется за время  $T_{САА}$  при движении ГЛ со скоростью  $V_N$  параллельно координате  $X$  (см. рисунок 1) в интервале  $[x_{j_a, g_a, h_a} - x_0; x_{j_a, g_a, h_a} + x_0]$ , где  $x_0 = V_N T_{САА} / 2$  половина пространственного интервала САА, а количество зондирующих сиг-