



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01N 25/18 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022106301, 09.03.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.03.2022

Дата регистрации:  
27.01.2023

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 09.03.2022

(45) Опубликовано: 27.01.2023 Бюл. № 3

Адрес для переписки:  
656049, г. Барнаул, пр-кт Ленина, 61, ФГБОУ  
ВО "Алтайский государственный университет",  
ЦРТПТТУИС

(72) Автор(ы):  
Щербинин Всеволод Владиславович (RU),  
Уланов Петр Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Алтайский государственный  
университет" (RU)

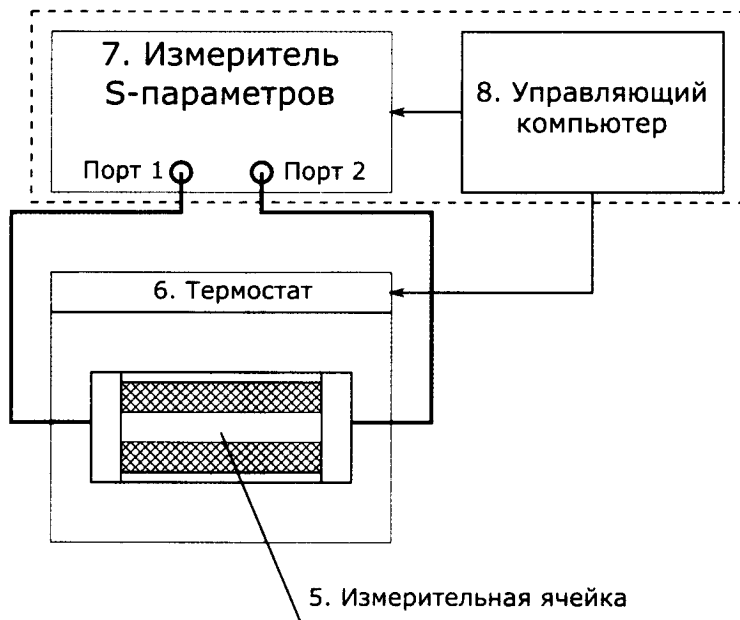
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: SU 800846 A1, 30.01.1981. ГОСТ  
26263-84. Грунты. Метод лабораторного  
определения теплопроводности мерзлых  
грунтов. М., 1985, п.3-6. RU 2431134 C1,  
10.10.2011. RU 167047 U1, 20.12.2016. RU 2558273  
C2, 27.07.2015. SU 1270661 A1, 15.11.1986. EP  
347571 B1, 14.09.1994.

(54) Способ косвенного измерения теплопроводности по данным диэлькометрических измерений

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и радиотехнике сверхвысоких частот и может использоваться для одновременного измерения теплофизических и диэлектрических параметров образцов. Для определения теплопроводности образец помещают в коаксиальную измерительную ячейку, которую помещают в термостат и подключают к анализатору цепей с разверткой по частоте. Ячейка должна обеспечивать сохранение параллельности торцов образца, полностью заполняющего ячейку и плотно прилегающего к ее стенкам. Выдержав образец при заданной температуре в течение времени, заведомо

достаточного для достижения теплового равновесия, изменяют уставку термостата и измеряют время установления температурного равновесия по норме невязки показаний анализатора. Теплопроводность вычисляется через отношение квадрата радиальной толщины образца к измеренному промежутку времени, плотности и теплоемкости. Технический результат состоит в возможности проведения комплексных исследований образцов материалов путем одновременного измерения теплофизических и электрофизических характеристик изучаемого вещества. 2 ил.



**Схема измерительной установки**  
**фиг. 2**



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01N 25/18 (2022.08)*

(21)(22) Application: **2022106301, 09.03.2022**

(24) Effective date for property rights:  
**09.03.2022**

Registration date:  
**27.01.2023**

Priority:

(22) Date of filing: **09.03.2022**

(45) Date of publication: **27.01.2023** Bull. № 3

Mail address:

**656049, g. Barnaul, pr-kt Lenina, 61, FGBOU VO  
"Altajskij gosudarstvennyj universitet",  
TSRTPTTUIS**

(72) Inventor(s):

**Shcherbinin Vsevolod Vladislavovich (RU),  
Ulanov Petr Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Altajskij gosudarstvennyj  
universitet" (RU)**

(54) **METHOD FOR INDIRECT MEASUREMENT OF THERMAL CONDUCTIVITY ACCORDING TO THE DATA OF DIELECTRIC MEASUREMENTS**

(57) Abstract:

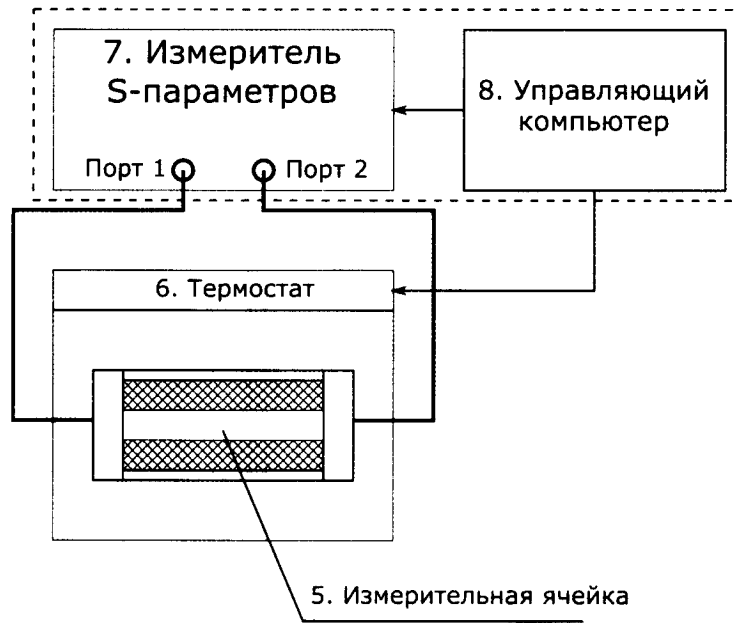
FIELD: measuring technology.

SUBSTANCE: invention relates to measuring equipment and radio engineering of ultrahigh frequencies and can be used for simultaneous measurement of thermophysical and dielectric parameters of samples. To determine the thermal conductivity, the sample is placed in a coaxial measuring cell, which is placed in a thermostat and connected to a frequency-sweep circuit analyzer. The cell must ensure that the ends of the sample remain parallel, completely filling the cell and tightly fitting to its walls. After holding the sample at a given temperature for a time obviously sufficient to achieve

thermal equilibrium, the thermostat setpoint is changed and the time for establishing temperature equilibrium is measured according to the norm of discrepancy of the analyzer readings. Thermal conductivity is calculated using the ratio of the square of the radial thickness of the sample to the measured time interval, density and heat capacity.

EFFECT: possibility of conducting complex studies of material samples by simultaneously measuring the thermophysical and electrophysical characteristics of the substance under study.

1 cl, 2 dwg



**Схема измерительной установки**  
**фиг. 2**

RU 2789020 C1

RU 2789020 C1

Изобретение относится к области измерительной техники, а также радиотехники сверхвысоких частот, и предназначено для проведения косвенных измерений теплопроводности твердых, жидких и дисперсных природных и искусственных материалов.

5 По предлагаемому изобретению исследуемый образец помещают в коаксиальную измерительную ячейку (фиг. 1), обеспечивающую сохранение параллельности торцов образца, полностью заполняющего ячейку и плотно прилегающего к ее стенкам; ячейку помещают в термостатирующую камеру и подключают высокочастотными коаксиальными кабелями к портам измерителя элементов матрицы рассеяния  
10 четырехполосника, способного выполнять измерения с разверткой по частоте; выдерживают образец в термостате при заданной температуре в течение промежутка времени, заведомо достаточного для наступления термодинамического равновесия в образце и меняют уставку термостатирующей камеры на заданную величину; после чего измеряют время установления термодинамического равновесия по уменьшению  
15 частотной нормы невязки электродинамических параметров матрицы рассеяния (коэффициентов прохождения и/или отражения) до порогового значения, которое предварительно получают на основе измерения собственных шумов измерительной установки; отношение квадрата толщины образца (разности между его внешним  $b$  и внутренним  $a$  радиусами) к данному промежутку времени представляет собой  
20 температуропроводность. Теплопроводность может быть вычислена по измеренной температуропроводности.

Изобретение поясняется рисунками:

Фиг. 1. Схема ячейки, где 1 - это внешняя оболочка коаксиальной измерительной ячейки, 2 - центральный проводник измерительной ячейки, 3 - ограничительная шайба,  
25 4 - измеряемый образец.

Фиг. 2. Схема измерительной установки, где 5 - измерительная ячейка, 6 - термостат, 7 - измеритель S-параметров, 8 - управляющий компьютер.

Технический результат состоит в возможности проведения комплексных исследований образцов материалов путем одновременного измерения теплофизических и  
30 электрофизических характеристик изучаемого вещества. При этом не требуется использовать тепломеры специальной конструкции: измерения выполняются с использованием серийно выпускаемых приборов.

Предлагаемый метод наиболее применим для измерения теплопроводности влажных дисперсных материалов (например, грунтов) в области фазовых переходов, но может  
35 быть использован для любых однородных образцов твердых, жидких и дисперсных материалов, характеризующихся в радиодиапазоне (диапазонах СЧ-СВЧ) существенной зависимостью диэлектрической проницаемости (показателя преломления) от температуры.

Поскольку измерения теплопроводности различных материалов имеют большое  
40 практическое значение, существует большое количество методов ее измерения. В частности, для мерзлых грунтов стандартизирован метод [ГОСТ 26263-84. Грунты. Метод лабораторного определения теплопроводности мерзлых грунтов. М., 1985. 12 с.], предполагающий изменение теплопроводности методом стационарного теплового потока. Для выполнения измерений образец в обойме из органического стекла следует  
45 выдержать при отрицательной температуре, соответствующей температуре испытаний, в течение 6-12 часов. Далее на торцевые поверхности образца устанавливаются термодатчики и он помещается на тепломер, уложенный на термостатированную плиту. Сверху на образец укладывается вторая термостатированная плита и прижимается к

образцу прижимным устройством. Образец должен полностью перекрывать рабочую часть тепломера. Если размеры образца меньше размера термостатированных плит, требуется заполнить остальной объем между плитами теплоизоляционным материалом. Далее тепломер закрывается, термопары и тепломер подключаются к измерительному устройству, а термопара сравнения помещается в сосуд Дьюара с тающим льдом. Термостатируемые плиты подключают к ультратермостатам, устанавливают на них температуру испытаний, при этом разница между температурами плит при испытании мерзлого грунта должна быть не меньше 1°C. При испытании талого грунта разница температур плит должна быть в пределах от 0,1 до 3°C. Через 2 ч после включения ультратермостатов начинают фиксировать температуру, измеренную термопарами и выполняют записи через каждые 20 мин. Окончание испытания определяется моментом, когда показание тепломера отличается от предыдущего показания не более чем на 5%. При этом измеряют температуру верхней и нижней поверхностей образца. Затем выполняют обработку результатов измерения. Недостатком метода является большой объем исследуемого образца, сложность конструкции тепломера - вследствие наличия двух термостатированных плит, - и большая длительность процесса измерений, особенно при необходимости определить зависимость теплопроводности от температуры.

Известен способ определения комплекса теплофизических свойств твердых материалов [Патент РФ на изобретение №2284030 МПК G01N 25/18, Ищук И.Н., Фесенко А.И., Обухов В.В., Чудинов Ю.В., Обухова Л.В.]. При измерении используют образец и эталон, полубесконечные в плане отведения тепла, на плоской поверхности которых размещают импульсный источник тепла и термодатчик, а затем измеряют температуры на определенном расстоянии между источником и датчиком, а на основе разницы температур получают тепловые характеристики образца. Недостатком этого способа является необходимость изготовления больших образцов с шлифованной плоской поверхностью, использования калиброванных источника тепла и термодатчика, а также то, что изготовленная установка может использоваться только с целью получения теплофизических характеристик образца.

Известен способ измерения теплопроводности твердых тел малого размера [Патент РФ на изобретение №2558273 МПК G01N 25/18, Кузнецов И.И., Мухин И.Б., Силин Д.Е., Палашов О.В.]. При измерении изготавливают три образца: один из изучаемого вещества, два из известного прозрачного вещества. Складывают образцы стопкой с изучаемым в центре, затем создают стационарный тепловой поток между нагревателем и охладителем с жидкостным охлаждением через систему слоев. Характеристики образца получают на основе разницы в интерференционных картинах света, прошедшего через прозрачные образцы. Недостатком описанного метода можно считать необходимость изготовления трех образцов правильной геометрической формы с хорошим тепловым контактом между ними, необходимость использования калиброванного нагревателя, непостоянная в общем случае температура протекающей через охладитель жидкости, а также влияние качества поверхности образцов на формирование интерференционной картины, а значит и на точность измерений.

Новизна предложенного способа состоит в том, что измерение теплопроводности образца выполняется на установке, составленной из сравнительно доступных серийно выпускаемых приборов, которые могут применяться и для выполнения других измерений. Также измерения могут проводиться в автоматизированном режиме, если применяемый измеритель элементов матрицы рассеяния допускает программирование процесса измерений и передачу команд внешним устройствам по стандартизованному интерфейсу (в таком режиме работают многие векторные анализаторы цепей,

оснащенные встроенным универсальным компьютером), а термостатирующая камера (камера тепла и холода) имеет возможность управления режимами работы с внешнего устройства. В этом случае после выполнения измерения теплопроводности при заданной температуре, измеритель изменяет уставку термостатирующей камеры и выполняет

5

следующее измерение.

При выполнении диэлькометрических измерений свойств природных и искусственных материалов в заданном диапазоне частот и температур обычно выполняют термостатирование образца при каждой из заданных температур, а затем выполняют измерения с разверткой по частоте. Типовая схема установки, которая используется для таких измерений, представлена на фиг. 2. Как правило (см. напр. Клещенко В.Н. Исследование диэлектрических свойств влажных засоленных почвогрунтов при положительных и отрицательных температурах: дис. ... канд. физ.-мат.наук. Томск. 2002. 197 с; Родионова О.В. Метод измерения комплексной диэлектрической проницаемости почвогрунтов в широкой полосе частот: дис ... канд. физ.-мат.наук. Томск. 2016. 136 с.; Лукин Ю.И. Диэлектрическая спектроскопия воды в минеральных почвогрунтах при положительных и отрицательных температурах: дис.... канд. физ.-мат.наук. Красноярск. 2021. 200 с.), термостатирование выполняется с помощью камеры тепла и холода, в которую введены кабели от портов скалярного или векторного анализатора цепей и к которым подключена коаксиальная измерительная ячейка с

исследуемым образцом. При выполнении измерений, после изменения уставки термостата, приходится некоторое время выждать: когда температура выровняется по всему объему образца. В течение времени выравнивания (температурной релаксации) частотные зависимости элементов матрицы рассеяния  $S_{ij}$  (обычно измеряются коэффициенты отражения  $S_{11}$  и прохождения  $S_{21}$  между двумя портами измерителя)

электромагнитных волн через измерительный тракт претерпевают некоторые изменения. При отсутствии химических процессов в образце, изменения носят монотонный характер. При автоматизированных измерениях критерием завершения температурной релаксации является уменьшение линейной либо другой нормы разницы между частотными векторами значений  $S_{ij}$  в предыдущий и текущий моменты времени. После того, как эта разница становится меньше некоторой величины, частотные векторы значений коэффициента отражения и прохождения записываются как значения при данной температуре. Затем уставка камеры изменяется и цикл повторяется. Время, в течение которого устанавливается термодинамическое равновесие, характеризует

температуропроводность и, следовательно, теплопроводность исследуемого образца. Насколько можно судить по опубликованным материалам, до настоящего времени эти данные при измерениях отбрасывались.

10

15

20

25

30

35

40

45

По предлагаемому способу для измерения теплопроводности исследуемый образец помещают в коаксиальную измерительную ячейку достаточно произвольной конструкции (см. фиг. 1), обеспечивающей сохранение параллельности торцов образца. Помимо данного требования, необходимо обеспечить согласование пустой измерительной ячейки с высокочастотными коаксиальными кабелями и измерительными портами измерителя элементов матрицы рассеяния по волновому сопротивлению. Примеры конструкций измерительных ячеек, удовлетворяющих данному требованию, можно найти, например, в [Патент РФ на изобретение №2660284 МПК G01R 27/26, Молостов И.П., Щербинин В.В.; Патент РФ на изобретение №2509315 МПК G01R 27/26, G01N 22/04, Бобров П.Л., Репин А.В., Кондратьева О.В.; Патент РФ на изобретение №119124 МПК G01R 27/06, Милкин С.С., Стародубов А.В., Горин Д.А., Калинин Ю.А.]

Образец должен полностью заполнять ячейку и плотно прилегать к ее стенкам. Для заполнения ячейки жидким образцом, ячейка должна иметь во внешней стенке два отверстия малого диаметра: через одно из них будет вводиться исследуемая жидкость, через другое - выходить воздух, причем заполнять ячейку следует до тех пор, пока в 5  
обоих отверстиях не образуется столб жидкости. Ограничительные шайбы в ячейке, применяемой для исследования жидких образцов, должны исключить просачивание жидкости за пределы ячейки. Для дисперсных образцов при укладке в ячейку требуется уплотнение трубчатым поршнем.

Если исследуемая жидкость или жидкая фаза дисперсной среды при заданных 10  
температурах испытывает фазовый переход, сопровождающийся изменением объема, то одна из ограничительных шайб должна быть подвижной, а при измерении температурной зависимости теплопроводности следует изменять температуру таким образом, чтобы в ходе измерений объем образца увеличивался (т.е. для жидкостей, уменьшающих объем при переходе в твердое агрегатное состояние, необходимо 15  
выполнять измерения от низких температур к высоким; для жидкостей, увеличивающих объем при переходе в твердое состояние - например, для воды, - от высоких температур к низким). Твердый образец должен быть изготовлен таким образом, чтобы он плотно входил в ячейку. Для твердых образцов применение ограничительных шайб не требуется. Образец должен быть однородным, т.е. размеры включений должны быть не более 20  
 $0,05 \cdot (b-a)$ , где  $b$  - внешний диаметр образца,  $a$  - внутренний диаметр образца.

Длина измерительной ячейки может быть достаточно произвольной, однако при малой длине ячейки (менее 1 см) снижается чувствительность метода, поскольку на коротком образце сигнал испытывает малое отражение и ослабление. Если длина ячейки велика (более 10 см), а образец характеризуется сильным поглощением 25  
электромагнитной волны (например, влажная засоленная почва), то вследствие затухания в образце коэффициент прохождения может оказаться слишком малым и его измерение будет выполняться с большой погрешностью. В таком случае следует либо выбрать ячейку меньшей длины, либо учитывать только результат измерений коэффициента отражения.

В качестве измерителя элементов матрицы рассеяния может использоваться: 30  
измеритель КСВН (коэффициента стоячей волны по напряжению), векторный анализатор цепей или другой прибор (измерительная установка), имеющий не менее двух портов и способный измерять модули (абсолютные величины) не менее, чем двух элементов матрицы рассеяния, например, коэффициента отражения  $S_{11}$  и прохождения  $S_{21}$  ячейки 35  
с разверткой по частоте (сви́пированием). Рабочий частотный диапазон прибора должен быть не менее 1 диапазона радиоволн (или любая полоса частот с не менее чем 10-кратным перекрытием; диапазоны от СЧ до СВЧ), а желательно 2 или более. Количество значений частоты  $n$  на рабочую полосу частот - не менее 3, но увеличение этого количества повышает точность определения момента наступления термодинамического 40  
равновесия. Метод чувствителен к дрейфу показаний измерителя, потому прибор (установку) следует выбирать таким образом, чтобы изменение показаний во времени было минимально возможным. К ширине динамического диапазона и уровню шумов специальных требований нет: все представленные на рынке серийные измерители имеют достаточное значение этих характеристик.

После того, как образец уложен в ячейку, последнюю помещают в термостатирующую камеру. Термостатирующая камера должна обеспечить равномерность температуры в объеме и ее постоянство во времени. Поскольку исследуемый образец имеет тепловую инерцию, жестких требований к постоянству температуры во времени метод не 45



выдвигает: в качестве термостата может применяться практически любая серийная камера тепла и холода. Внутренний объем камеры должен быть существенно больше объема измерительной ячейки (ячейка не должна прилегать к внутренним стенкам термостата). Термостатирующая камера должна быть оснащена двумя портами, обеспечивающими ввод внутрь ее объема коаксиальных кабелей, которые используют для соединения ячейки с портами измерителя элементов матрицы рассеяния. Далее необходимо выдержать образец в термостате при заданной температуре в течение промежутка времени, заведомо достаточного для наступления термодинамического равновесия в образце и определить пороговое значение невязки  $n$ -мерных частотных векторов элементов матрицы рассеяния.

Для этого с некоторой периодичностью (1-5 секунд) записываются значения частотных векторов  $S_{11}$  и  $S_{21}$  и сравниваются с предыдущим значением, путем вычисления нормы невязки для каждого из них: линейной (сумма модулей разности модулей), квадратичной (евклидова норма в  $n$ -мерном пространстве) или любой другой. Периодичность записи векторов определяется быстродействием управляющего компьютера и интерфейсов управления; поскольку требуется в течение этого периода выполнить запись данных, вычисление нормы, а также формирование и передачу управляющих команд. Уменьшение периодичности записи векторов повышает точность измерений теплопроводности. Для определения порогового значения невязки необходимо хранить несколько (например, 5) ее последних значений для каждого из измеряемых элементов матрицы рассеяния. Если вновь определенное значение невязки для данного элемента матрицы меньше предыдущего, то из этого следует, что происходят существенные изменения вектора и, следовательно, тепловое равновесие не достигнуто. Если значение невязки стало больше, чем предыдущее, то это свидетельствует либо о локальных изменениях частотного вектора, связанных с особенностями образца, либо о том, что достигнуто термодинамическое равновесие и увеличение невязки произошло за счет шумов. Если в течение нескольких следующих циклов измерения такая ситуация повторится еще дважды, то равновесие действительно достигнуто и максимальное из последних хранимых значений невязки может быть принято в качестве порогового, характеризующего уровень шумов измерителя.

Затем выполняются измерения теплопроводности. Для этого изменяют уставку термостатирующей камеры на заданную величину и измеряют время установления термодинамического равновесия по уменьшению нормы невязки  $n$ -мерных частотных векторов элементов матрицы рассеяния: момент времени, в который невязка достигла порогового значения (если одновременно измеряются два элемента матрицы рассеяния, то момент времени, когда обе невязки достигли порогового значения), считается моментом достижения термодинамического равновесия в образце.

Температуропроводность может быть вычислена, если известен промежуток времени между моментом  $t_1$  установления температуры, равной температуре термостата, на внутренней поверхности оболочки ячейки и моментом  $t_2$  достижения термодинамического равновесия в образце. Значение  $t_2$  определяется способом, изложенным выше, и может считаться известным, а время установления температуры, равной температуре термостата на внутренней поверхности оболочки ячейки  $t_1$  можно определить тремя способами.

Первый - наиболее точный, - оснастить ячейку термодатчиком (например, термопарой), непосредственно измеряющей эту температуру и определять момент достижения температуры термостата по показаниям этого датчика. Установка

термодатчика влияет на результаты диэлькометрических измерений, поэтому этот способ не рекомендуется для выбора при одновременных измерениях диэлектрических параметров образца.

Второй способ заключается в предварительной калибровке ячейки. В ячейку устанавливается термопара или иной датчик температуры. Затем ячейка с подключенными кабелями помещается в термостат и проводится измерение промежутка времени между изменением уставки термостата и достижением заданной температуры на внутренней поверхности оболочки ячейки (калибровка ячейки). Затем в процессе измерений этот промежуток времени добавляется ко времени изменения уставки термостата. Этот способ предпочтителен и позволяет получить точные измерения и теплофизических, и диэлектрических параметров образца.

Третий способ наиболее прост с точки зрения реализации, но наименее точен: время установления температуры на поверхности оболочки ячейки, определяют по документации на термостат (это время между изменением уставки и достижением заданной температуры во всем объеме) или показаниям встроенного термометра, а время, в течение которого данное значение температуры устанавливается на внутренней поверхности оболочки ячейки расчетным методом: по известной температуропроводности материала, из которого она изготовлена, и толщине этого материала. Этот способ не рекомендуется при отсутствии необходимой документации на имеющийся термостат.

Независимо от способа определения времени установления температуры, равной температуре термостата, на внутренней поверхности оболочки ячейки, промежуток времени между этим моментом и достижением термодинамического равновесия позволяет вычислить температуропроводность образца:

$$\alpha = \frac{(b-a)^2}{t_2 - t_1}.$$

Температуропроводность  $\alpha$  связана с теплопроводностью к хорошо известной формулой:

$$\kappa = \alpha c_p \rho,$$

где  $c_p$  - изобарная удельная теплоемкость;  $\rho$  - плотность. Плотность образца  $\rho$  определяется каким-либо независимым методом. Например, вычисляется по известному объему (он равен объему ячейки) и измеренной массе образца. Изобарная удельная теплоемкость  $c_p$  также подлежит независимому определению. Ее можно измерить калориметрическим методом. Для некоторых образцов, состав которых априори известен, ее можно вычислить как взвешенную сумму изобарных удельных теплоемкостей компонентов смеси. Таким образом, измеренное значение теплопроводности определяется по формуле

$$\kappa = c_p \rho \frac{(b-a)^2}{t_2 - t_1}.$$

в которой промежуток времени  $t_2 - t_1$  определяется предложенным методом, а изобарная удельная теплоемкость  $c_p$  и плотность  $\rho$  измеряются другими методами.

#### (57) Формула изобретения

Способ определения теплопроводности твердых, жидких и сыпучих материалов, основанный на измерении времени наступления термодинамического равновесия в термостатированном образце, помещенном в измерительную ячейку, при изменении

температуры термостата; отличающийся тем, что ячейка имеет коаксиальную конструкцию и включена в коаксиальную линию передачи, а момент наступления термодинамического равновесия определяется по результатам радиотехнических измерений S-параметров заполненной ячейки на нескольких частотах одновременно, а именно по достижению нормой частотного вектора невязки порогового значения, определяемого собственными шумами измерительной установки; при этом теплопроводность определяется с учетом известного промежутка времени между моментом  $t_1$  установления температуры, равной температуре термостата, на внутренней поверхности оболочки ячейки и моментом  $t_2$  достижения термодинамического равновесия в образце по формуле

$$\kappa = c_p \rho \frac{(b - a)^2}{t_2 - t_1},$$

где  $c_p$  - изобарная удельная теплоемкость;  $\rho$  - плотность образца;  $b$  - внешний диаметр образца;  $a$  - внутренний диаметр образца.

20

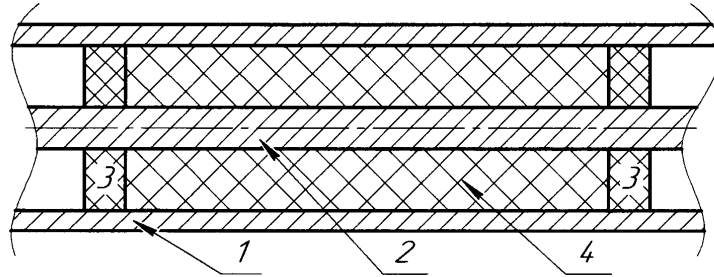
25

30

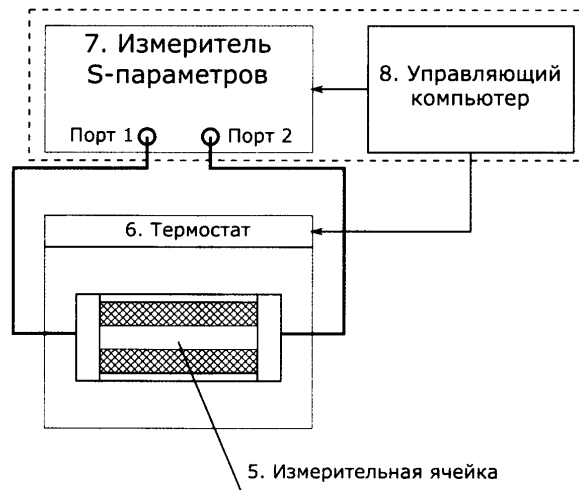
35

40

45



фиг. 1 Схема ячейки



фиг. 2 Схема измерительной установки