

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ МЕТОДАМИ РЕГУЛЯРНЫХ РЕЖИМОВ

С. В. Пономарев, С. В. Мищенко

*Кафедра «Мехатроника и технологические измерения», svronot@yahoo.com;  
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия*

**Ключевые слова:** измерение; коэффициент температуропроводности; методы регулярных режимов первого, второго и третьего рода; теплопроводность; теплофизические свойства.

**Аннотация:** Рассмотрены возможности использование единого варианта конструкции измерительной ячейки в составе установки для измерения теплофизических свойств твердых материалов с применением методов регулярных режимов первого, второго и третьего рода.

---

### Введение

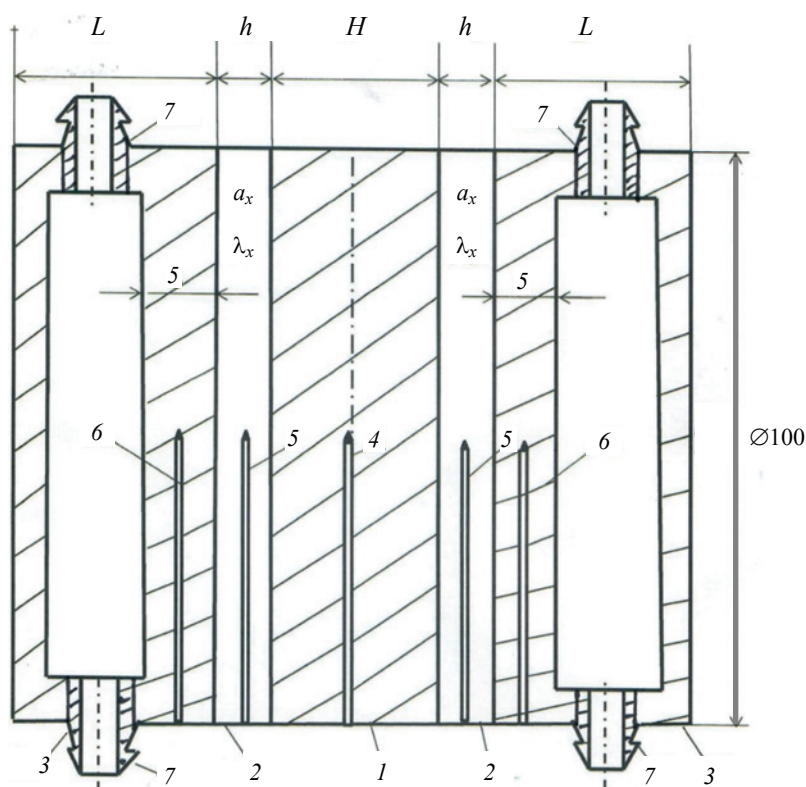
В настоящее время широко известны и достаточно часто применяются методы регулярных режимов первого, второго и третьего рода [1 – 7]. Название «Методы регулярных режимов первого, второго и третьего рода» является общепринятым не только в Российской Федерации, но и западных странах. В 1998 году профессор Нью-Йоркского университета Thomas F. Irvine отметил, что оно давно используется в Соединенных Штатах Америки, причем, данные термины заимствованы американскими специалистами по измерению теплофизических свойств веществ из результатов исследований и научных публикаций советских ученых: академика А. В. Лыкова, профессора Г. М. Кондратьева и других, чьи статьи и книги в послевоенные годы переводили на английский язык.

До настоящего времени существовало мнение, что для осуществления каждого из методов регулярных режимов первого, второго и третьего рода следует применять измерительные устройства совершенно различных конструкций, варианты которых рассмотрены в публикациях [2 – 14].

Рассмотрим вариант конструкции измерительной ячейки и схему установки, которые позволяют осуществлять измерения теплофизических свойств твердых материалов с применением любого из методов регулярных режимов первого, второго или третьего рода.

### Конструкция измерительной ячейки

Схема предлагаемой единой конструкции измерительной ячейки для осуществления методов регулярных режимов первого, второго и третьего рода приведена на рис. 1.



**Рис. 1. Конструкция измерительной ячейки для осуществления методов регулярных режимов 1, 2 и 3 рода**

Для получения в процессе измерительного эксперимента необходимых режимов изменения температуры (по временным программам, задаваемым информационно-измерительной и управляющей системой (ИИУС)) на внешних поверхностях двух исследуемых образцов 2 толщиной  $h = 4 \dots 5$  мм, имеющих теплопроводность  $\lambda_x$  и коэффициента температуропроводности  $a_x$ , размещают теплообменники 3, изготовленные из высокотеплопроводного материала, в частности, стали. Внутри теплообменников, через подсоединенные к штуцерам 7 шланги, подается жидкость (теплоноситель) из термостатов, обеспечивающих либо поддержание температуры теплоносителя на заданном уровне, либо изменение температуры теплоносителя по требующейся программе.

В одной боковой стенке каждого теплообменника 3 просверлено отверстие 6 для размещения в нем термопары или термометра сопротивления, которые предназначены для измерения температур на наружных поверхностях исследуемых образцов 2.

Внутри образцов 2, изготовленных из исследуемого твердого материала, на расстоянии  $h/2$  от поверхности просверлены отверстия 5, предназначенные для размещения в них термопар или термометров сопротивления, служащих для измерения и регистрации изменения температур во времени в центре образцов в процессе проведения измерительного эксперимента.

Между двумя одинаковыми образцами 2 размещен центральный блок 1 толщиной  $H = 10$  мм, изготовленный из высокотеплопроводного материала с известными теплофизическими свойствами. В данном случае используется блок 1, изготовленный из меди, для которой известны табличные значения как теплопровод-

ности  $\lambda = 401,9$  Вт/(м·град), так и коэффициента температуропроводности  $a = 1168 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с. В центре блока 1 просверлено отверстие 4, предназначенное для измерения изменения температуры на его осевой линии в процессе измерительного эксперимента с применением термопары или термометра сопротивления. Отметим, что благодаря измерению температуры в центре медного блока 1 (с известными теплофизическими свойствами) при обработке экспериментальных данных появляется возможность для каждого момента времени определять плотность теплового потока, подводимого к поверхности данного блока. Это означает, что медный блок 1 в процессе эксперимента может быть использован как тепломер.

Следует отметить, что все элементы измерительной ячейки: медный блок 1, образцы 2 из исследуемого материала и теплообменники 3 имеют цилиндрическую форму с внешним диаметром 100 мм (см. рис. 1). Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду, внешние поверхности медного блока 1, образцов 2 и теплообменников 3 покрыты легкооседающей теплоизоляцией.

### Подключение теплообменников измерительной ячейки к жидкостным термостатам при осуществлении методов регулярных режимов 1, 2 и 3 рода

На рисунке 2 приведена схема установки для осуществления методов регулярных режимов первого, второго и третьего рода с применением рассмотренной измерительной ячейки (см. рис. 1).

При подготовке к проведению эксперимента ИИУС управляет работой электронагревателей термостатов Т1 и Т2 таким образом, чтобы в термостате Т1 установилась постоянная температура  $T_1$ , а в термостате Т2 – температура  $T_2$ . При практическом осуществлении методов регулярных режимов 1, 2 и 3 рода для подачи теплоносителей из термостатов Т1 и Т2 к теплообменникам 3 измерительной ячейки используются шланги, подключенные к штуцерам 7.

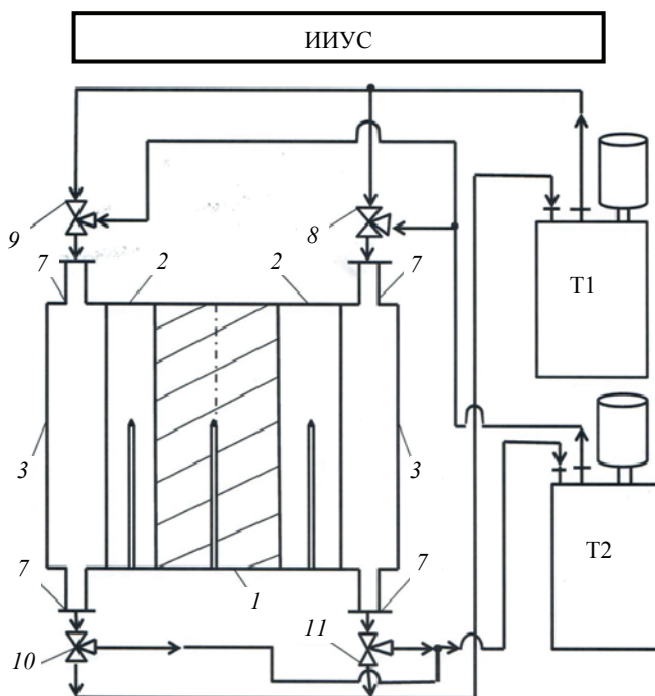


Рис. 2. Схема подключения шлангов к штуцерам (поз. 4 – 6 см. на рис. 1)

Трехходовые краны 8 – 11 позволяют по команде ИИУС переключать потоки теплоносителей (из термостатов Т1 и Т2), подаваемых в теплообменники 3. Причем, при одном положении трехходовых кранов 8 – 11 теплоноситель в теплообменники 3 подается из термостата Т1, а при другом – из Т2.

### **Подача теплоносителей к измерительной ячейке и управление работой трехходовых кранов**

*Метод регулярного режима первого рода.* Осуществление метода регулярного режима первого рода (при экспериментальном измерении теплофизических свойств образцов 2 из исследуемого материала) предусматривает выполнение следующих действий (см. рис. 2):

1) на первом (подготовительном) этапе ИИУС управляет работой электронагревателей термостатов Т1 и Т2 таким образом, чтобы в них установились постоянные температуры  $T_1$  и  $T_2$  соответственно. На данном этапе ИИУС устанавливает трехходовые краны 8 – 11 в такое положение, чтобы через теплообменники 3 пропускаться теплоноситель из термостата Т1. При этом происходит выдерживание медного блока 1 и образцов 2 исследуемого материала при заданной начальной температуре  $T_1$ , задаваемой за счет прокачивания теплоносителя с данной температурой из термостата Т1 в течение длительного промежутка времени, которого должно быть достаточно, чтобы достигнуть стационарного режима и постоянной как во времени, так и пространстве температуры в блоке 1 и образцах 2. На практике о достижении стационарного режима судят по постоянству и равенству температур в блоке 1 и образцах 2 измерительной ячейки; после достижения стационарного распределения температуры ( $T_1 = \text{const}$ ) ИИУС переходит к выполнению второго этапа;

2) на втором этапе ИИУС переключает трехходовые краны 8 – 11 в такое положение, чтобы через теплообменники 3 измерительной ячейки пропускаться теплоноситель с температурой  $T_2$  из термостата Т2. Далее, с постоянным шагом во времени, ИИУС осуществляет измерение температур в центре медного блока 1  $T_m$ , центре образцов 2  $T_{об}$  и стенках теплообменников 3  $T_c$  и регистрацию их изменений во времени с применением термопар (или термометров сопротивления), установленных в отверстиях 4 – 6 (см. рис. 1). Когда разность температур ( $T_m - T_2$ ) станет менее 10 % разности температур ( $T_1 - T_2$ ), второй этап эксперимента прекращают;

3) на третьем этапе осуществляют обработку полученных экспериментальных данных и вычисляют искомые теплофизические свойства образцов 2 из исследуемого материала.

*Метод регулярного режима второго рода.* Практическое осуществление метода регулярного режима второго рода включает следующие этапы:

1) данный этап полностью повторяет действия первого этапа метода регулярного режима первого рода, с той разницей, что выдерживание медного блока 1 и образцов 2 исследуемого материала проходит в течение относительно небольшого промежутка времени, так как метод регулярного режима второго рода не предъявляет высоких требований к достижению постоянного начального распределения температуры в блоке 1 и образцах 2;

2) на втором этапе ИИУС переключает трехходовые краны 8 – 11 в такое положение, чтобы через теплообменники 3 измерительной ячейки пропускаться теплоноситель из термостата Т2 с первоначальным значением температуры  $T_{20}$ ; с момента начала подачи теплоносителя (в измерительную ячейку) из термостата Т2 ИИУС начинает (по заранее заданной временной программе) изменять температуру теплоносителя в термостате Т2 по линейному закону

$$T_2(\tau) = T_{20} + k \cdot \tau, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, определяющий скорость линейного изменения температуры теплоносителя во времени.

С момента начала второго этапа ИИУС с постоянным шагом во времени осуществляет измерение температур  $T_m(\tau)$ ,  $T_{об}(\tau)$  и  $T_c(\tau)$  соответственно в центре медного блока 1, в центре образцов 2, стенках теплообменников 3 и регистрацию их изменений во времени с применением термопар (или термометров сопротивления), установленных в отверстиях 4 – 6 (рис. 1). Второй этап эксперимента прекращают в тот момент времени, когда температура  $T_{об}(\tau)$  в центре образцов 2 достигнет заранее известное предельное значение температуры  $T_{пр}$ , до которой следует проводить эксперимент. При этом прекращают изменение температуры теплоносителя по закону (1), что позволяет предотвратить деструкцию (потерю прочности, размягчение, разрушение) исследуемых образцов 2;

3) на третьем этапе осуществляют обработку полученных массивов (измеренных и зарегистрированных) экспериментальных данных  $T_m(\tau)$ ,  $T_{об}(\tau)$  и  $T_c(\tau)$  и вычисляют искомые теплофизические свойства образцов 2 из исследуемого материала. Следует отметить, что метод регулярного режима второго рода (в отличие от методов регулярных режимов первого и третьего рода, позволяющих в каждом отдельном эксперименте измерять искомые теплофизические свойства только в узком температурном диапазоне) с точки зрения теории позволяет при обработке полученных массивов  $T_m(\tau)$ ,  $T_{об}(\tau)$  и  $T_c(\tau)$  находить зависимости от температуры  $T$  как теплопроводности  $\lambda = \lambda(T)$ , так и коэффициента температуропроводности  $a = a(T)$  исследуемого материала.

*Метод регулярного режима третьего рода.* Процесс практического осуществления метода регулярного режима третьего рода состоит в следующем:

1) на первом (подготовительном) этапе ИИУС управляет работой электронагревателей термостатов Т1 и Т2 таким образом, чтобы в них установились постоянные температуры  $T_1$  и  $T_2$  соответственно;

2) на втором (основном) – ИИУС осуществляет управление работой трехходовых кранов 8 – 11 так, чтобы по временной программе (по периодическому закону с заданным периодом  $T_{пер}$ ) в теплообменники 3 поочередно во времени поступали теплоносители из термостатов Т1 и Т2. При этом в первую половину периода  $T_{пер}$  положение трехходовых кранов 8 – 11 устанавливается такое, чтобы через теплообменники 3 пропускаться теплоноситель с температурой  $T_1$  из термостата Т1, а во вторую – теплоноситель с температурой  $T_2$  из термостата Т2. Примерно через 15...20 периодов в глубине исследуемых образцов 2 и медном блоке 1 измерительной ячейки наступает установившийся во времени режим гармонических периодических колебаний температуры. О наступлении установившегося режима судят по достижению постоянных значений амплитуд гармонических колебаний температур  $T_m(\tau)$  и  $T_{об}(\tau)$  в медном блоке 1 и образцах 2 исследуемого материала. После достижения установившегося режима гармонических колебаний температуры, ИИУС с постоянным шагом во времени (на протяжении двух или трех периодов) осуществляет измерение температур  $T_m(\tau)$ ,  $T_{об}(\tau)$   $T_c(\tau)$  и регистрацию их изменений во времени с применением термопар (или термометров сопротивления), установленных в отверстиях 4, 5 и 6 (см. рис. 1);

3) на третьем этапе осуществляют обработку зарегистрированных массивов экспериментальных данных и вычисляют искомые теплофизические свойства образцов 2 из исследуемого материала.

## Заключение

Представленные результаты основаны на опыте разработки в ФГБОУ ВО «ТГТУ» методов и устройств для измерения теплофизических свойств веществ, базирующихся на использовании математических закономерностей регулярных режимов: а) первого рода [5, 6, 9, 12, 15]; б) второго рода [5, 6, 16]; в) третьего рода [5, 6, 11, 17, 18], и могут быть полезны научным работникам и инженерам, которые занимаются разработкой, совершенствованием и эксплуатацией теплофизических приборов и средств измерений.

### *Список литературы*

1. Лыков, А. В. Теория теплопроводности : учеб. пособие / А. В. Лыков. – М. : Высш. школа, 1967. – 600 с.
2. Кондратьев, Г. М. Регулярный тепловой режим / Г. М. Кондратьев. – М. : Гостехиздат, 1954. – 408 с.
3. Кондратьев, Г. М. Тепловые измерения : учеб. пособие / Г. М. Кондратьев. – М. ; Л. : Машгиз, 1957. – 244 с.
4. Черпаков, П. В. Теория регулярного теплообмена / П. В. Черпаков. – М. : Энергия, 1975. – 224 с.
5. Пономарев, С. В. Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений : монография. В 2-х кн. / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, А. Г. Дивин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – Кн. 1. – 204 с.
6. Пономарев, С. В. Теоретические и практические основы теплофизических измерений / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, А. Г. Дивин [и др.] ; под ред. С. В. Пономарева. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 408 с.
7. Теплофизические измерения : учеб. пособие / Е. С. Платунов, И. В. Баранов, С. Е. Буравой, В. В. Курепин ; под ред. Е. С. Платунова. – СПб. : СПбГУНИПТ, 2010. – 738 с.
8. Кравчун, С. Н. Метод периодического нагрева в экспериментальной теплофизике / С. Н. Кравчун, А. А. Липаев. – Казань : Изд-во Казанского ун-та, 2006. – 208 с.
9. Пономарев, С. В. Метод и устройство для измерения теплофизических характеристик регенеративных продуктов / С. В. Пономарев, П. В. Балабанов, Е. С. Пономарева // Измерительная техника. – 2003. – № 9. – С. 51 – 54.
10. Ивлиев, А. Д. Метод температурных волн в теплофизических исследованиях (анализ советского и российского опыта) / А. Д. Ивлиев // Теплофизика высоких температур. – 2009. – Т. 47, № 5. – С. 771 – 792.
11. Любимова, Д. А. Измерения теплофизических характеристик материалов методами регулярного режима третьего рода / Д. А. Любимова, С. В. Пономарев, А. Г. Дивин // Измерительная техника. – 2014. – № 12. – С. 39 – 43.
12. Пономарев, С. В. Математическая обработка результатов при измерении теплопроводности и температуропроводности методом, аналогичным регулярному режиму 1 рода / С. В. Пономарев, П. В. Балабанов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2003. – Т. 9, № 3. – С. 382 – 389.
13. Платунов, Е. С. Теплофизические измерения в монотонном режиме / Е. С. Платунов. – Л. : Энергия, 1973. – 144 с.
14. Пономарев, С. В. Применение математических основ метрологии при оптимизации режимных параметров методов и основных конструкционных размеров устройств для измерения теплофизических свойств веществ : монография / С. В. Пономарев, А. Г. Дивин, Д. А. Любимова ; под науч. ред. С. В. Пономарева. – Тамбов : Издательство ТГТУ, 2015. – 160 с.
15. Мищенко, С. В. Метод и измерительное устройство для определения теплофизических свойств материалов с использованием регулярного режима / С. В. Мищенко, С. В. Пономарев, С. В. Григорьева [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2001. – Т. 7, № 3. – С. 362 – 372.
16. Балабанов, П. В. Метод и устройство для измерения теплофизических свойств образцов регенеративного продукта на матрице при нагреве их постоянным тепловым потоком / П. В. Балабанов, С. В. Пономарев, Е. Н. Балабанова // Измерительная техника. – 2009. – № 5. – С. 49 – 53.
17. Пономарев, С. В. О выборе оптимальных режимных параметров процесса измерения коэффициента температуропроводности теплоизоляционных материалов методом регулярного режима третьего рода / С. В. Пономарев, Д. А. Дивина, А. С. Щечкохихин // Измерительная техника. – 2012. – № 1. – С. 47 – 49.
18. Любимова, Д. А. Измерение теплофизических свойств теплоизоляционных материалов методом регулярного режима третьего рода : монография / Д. А. Любимова, С. В. Пономарев, А. Г. Дивин. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2014. – 80 с.

## A Device for Measuring Thermal Properties of Substances by Methods of Regular Modes

S. V. Ponomarev, S. V. Mishchenko

*Department of Mechatronics and Technological Measurements,  
svponom@yahoo.com; TSTU, Tambov, Russia*

**Keywords:** measurement; thermal diffusivity; methods of regular modes of the first, second and third kind; thermal conductivity; thermophysical properties.

**Abstract:** The paper considers the possibility of using a single version of the design of the measuring cell as part of an installation for measuring the thermophysical properties of solid materials using the methods of regular modes of the first, second and third kind.

### *References*

1. Lykov A.V. *Teoriya teploprovodnosti: uchebnoye posobiye* [Theory of thermal conductivity: a textbook], Moscow: Vysshaya shkola, 1967, 600 p. (In Russ.)
2. Kondrat'yev G.M. *Regulyarnyy teplovoy rezhim* [Regular thermal regime], Moscow: Gostekhizdat, 1954, 408 p. (In Russ.)
3. Kondrat'yev G.M. *Teplovyye izmereniya: uchebnoye posobiye* [Thermal measurements: a textbook], Moscow; Leningrad: Mashgiz, 1957, 244 p. (In Russ.)
4. Cherpakov P.V. *Teoriya regulyarnogo teploobmena* [Theory of regular heat exchange], Moscow: Energiya, 1975, 224 p. (In Russ.)
5. Ponomarev S.V., Mishchenko S.V., Divin A.G. *Teoreticheskiye i prakticheskiye aspekty teplofizicheskikh izmereniy: monografiya. V 2 kn.* [Theoretical and practical aspects of thermophysical measurements: monograph. In 2 books], Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gos. tekhn. un-ta, 2006, Book 1, 204 p. (In Russ.)
6. Ponomarev S.V. [Ed.], Mishchenko S.V., Divin A.G., Vertogradskiy V.A., Churikov A.A. *Teoreticheskiye i prakticheskiye osnovy teplofizicheskikh izmereniy* [Theoretical and practical foundations of thermophysical measurements], Moscow: FIZMATLIT, 2008, 408 p. (In Russ.)
7. Platunov Ye.S. [Ed.], Baranov I.V., Buravoy S.Ye., Kurepin V.V. *Teplofizicheskiye izmereniya: uchebnoye posobiye* [Thermophysical measurements: a textbook], St. Petersburg: SPbGU-NiPT, 2010, 738 p. (In Russ.)
8. Kravchun S.N., Lipayev A.A. *Metod periodicheskogo nagreva v eksperimental'noy teplofizike* [Method of periodic heating in experimental thermal physics], Kazan: Izdatel'stvo Kazanskogo universiteta, 2006, 208 p. (In Russ.)
9. Ponomarev S.V., Balabanov P.V., Ponomareva Ye.S. [Method and device for measuring the thermophysical characteristics of regenerative products], *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Technique], 2003, no. 9, pp. 51-54. (In Russ., abstract in Eng.)
10. Ivliyev A.D. [The method of temperature waves in thermophysical research (analysis of the Soviet and Russian experience)], *Teplofizika vysokikh temperature* [Thermophysics of high temperatures], 2009, vol. 47, no. 5, pp. 771-792. (In Russ.)
11. Lyubimova D.A., Ponomarev S.V., Divin A.G. [Measurements of thermophysical characteristics of materials by methods of the regular mode of the third kind], *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Technique], 2014, no. 12, pp. 39-43. (In Russ., abstract in Eng.)
12. Ponomarev S.V., Balabanov P.V. [Mathematical processing of results when measuring thermal conductivity and thermal diffusivity by a method similar to the regular mode of the 1st kind], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2003, vol. 9, no. 3, pp. 382-389. (In Russ., abstract in Eng.)

13. Platunov Ye.S. *Teplofizicheskiye izmereniya v monotonnom rezhime* [Thermophysical measurements in monotonic mode], Leningrad: Energiya, 1973, 144 p. (In Russ.)

14. Ponomarev S.V. [Ed.], Divin A.G., Lyubimova D.A. *Primeneniye matematicheskikh osnov metrologii pri optimizatsii rezhimnykh parametrov metodov i osnovnykh konstruktsionnykh razmerov ustroystv dlya izmereniya teplofizicheskikh svoystv veshchestv: monografiya* [Application of mathematical foundations of metrology in the optimization of operating parameters of methods and basic structural dimensions of devices for measuring thermophysical properties of substances: monograph], Tambov: Izdatel'stvo TGTU, 2015, 160 p. (In Russ.)

15. Mishchenko S.V., Ponomarev S.V., Grigor'yeva S.V., Ponomareva Ye.S., Divin A.G., Churikov A.A. [Method and measuring device for determining the thermal and physical properties of materials using a regular mode], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2001, vol. 7, no. 3, pp. 362-372. (In Russ., abstract in Eng.)

16. Balabanov P.V., Ponomarev S.V., Balabanova Ye.N. [Method and device for measuring the thermophysical properties of samples of a regenerative product on a matrix when heated by a constant heat flow], *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Technique], 2009, no. 5, pp. 49-53. (In Russ., abstract in Eng.)

17. Ponomarev S.V., Divina D.A., Shchekochikhin A.S. [On the choice of optimal operating parameters of the process of measuring the thermal diffusivity of heat-insulating materials by the method of regular mode of the third kind], *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Technique], 2012, no. 1, pp. 47-49. (In Russ., abstract in Eng.)

18. Lyubimova D.A., Ponomarev S.V., Divin A.G. *Izmereniye teplofizicheskikh svoystv teploizolyatsionnykh materialov metodom regul'yarnogo rezhima tret'yego roda: monografiya* [Measurement of thermophysical properties of heat-insulating materials by the method of regular regime of the third kind: monograph], Tambov: Izdatel'stvo TGTU, 2014, 80 p. (In Russ.)

---

### **Vorrichtung zur Messung thermophysikalischer Eigenschaften der Substanzen durch regelmäßige Regime**

**Zusammenfassung:** Es sind die Möglichkeiten der Verwendung einer einzigen Messzellenkonstruktion als Teil einer Anlage zur Messung der thermophysikalischen Eigenschaften von festen Materialien unter Verwendung von regelmäßigen Verfahren der ersten, zweiten und dritten Art betrachtet.

---

### **Dispositif de mesure des propriétés thermophysiques des substances par des méthodes des régimes réguliers**

**Résumé:** Sont examinés les possibilités d'utiliser une version unique de la conception de la cellule de mesure dans le cadre d'une installation pour mesurer les propriétés thermiques et physiques des matériaux solides en utilisant des méthodes des modes réguliers de premier, deuxième et troisième types.

---

**Авторы:** *Пономарев Сергей Васильевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Мехатроника и технологические измерения»; *Мищенко Сергей Владимирович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Мехатроника и технологические измерения», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

**Рецензент:** *Дивин Александр Георгиевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мехатроника и технологические измерения», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.