

2. *Переяславская, Л. Б.* Исследование корреляции между результатами ЕГЭ по математике абитуриентов и их успеваемостью в вузе. / Л. Б. Переяславская, В. И. Переяславский // Научный журнал. Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса. — М., 2014. — Т. 8. — №4. — С. 49-53.

3. *Хавенсон, Т. Е.* Связь результатов Единого государственного экзамена и успеваемости в вузе. / Т. Е. Хавенсон, А. А. Соловьева // Научный журнал. Вопросы образования. — М., 2014. — №1. — С. 186-199.

УДК [536+537]:53.08:[004.3:004.41]

Соснин А. С., Черноскутов М. Ю., Самойлов А. О., Мешков В. В.

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ
ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ
(ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТЬ, ОТНОСИТЕЛЬНАЯ
ТЕПЛОЕМКОСТЬ, ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ) В
ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР (300-2000К)**

Александр Сергеевич Соснин

студент

salexandr18@gmail.com

*ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический
университет», Россия, Екатеринбург*

Михаил Юрьевич Черноскутов

аспирант

mikhail.chernoskutov@gmail.com

*ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический
университет», Россия, Екатеринбург*

Антон Олегович Самойлов

студент

tonik.sam@gmail.com

ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Россия, Екатеринбург

Владислав Витальевич Мешков

старший преподаватель

vladislav.meshkov@rsyru.ru

ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Россия, Екатеринбург

**HARDWARE-SOFTWARE SYSTEM FOR MEASURING
THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF MATERIALS (TEMPERATURE
DIFFUSIVITY, RELATIVE THERMAL CAPACITY, ELECTRICAL
RESISTANCE) IN WIDE TEMPERATURE RANGE (300-2000 K)**

Alexandr Sergeevich Sosnin

Russian State Vocational Pedagogical University, Russia, Yekaterinburg

Mikhail Yurievich Chernoskutov

Russian State Vocational Pedagogical University, Russia, Yekaterinburg

Anton Olegovich Samoylov

Russian State Vocational Pedagogical University, Russia, Yekaterinburg

Vladislav Vitalievich Meshkov

Russian State Vocational Pedagogical University, Russia, Yekaterinburg

Аннотация. Данная работа описывает систему автоматизации установок, входящих в экспериментальный комплекс по исследованию теплофизических свойств и электрического сопротивления материалов.

Abstract. Paper describes automated system of measuring units that are a part of experimental complex for measuring thermophysical properties and electric resistance of materials.

Ключевые слова: Электрическое сопротивление, твердофазный материал, четырехзондовый метод, закон Ома, аналого-цифровое преобразование

сигналов, метод температурных волн, температуропроводность, относительная теплоёмкость.

Keywords: *Electrical resistance, solid phase material, four-probe method, Ohm's law, ADC, temperature wave method, thermal diffusivity, relative thermal capacity*

Исследование теплофизических величин необходимо для множества отраслей промышленности. Знание теплофизических свойств позволяет подбирать оптимальные вещества, необходимые для выполнения определенных задач.

Существует множество методов измерения теплофизических свойств веществ, реализуемых различными экспериментальными комплексами. В Межотраслевом центре высокотемпературных теплофизических исследований конденсированных материалов РГППУ разработан программно-аппаратный комплекс для измерения температуропроводности, относительной теплоемкости, теплопроводности и удельного электрического сопротивления. Данный комплекс представляет собой две экспериментальные установки. Первая установка предоставляет возможность исследовать теплофизические свойства вещества (температуропроводность и относительная теплоемкость), вторая – электрическое сопротивление вещества.

Обе установки позволяют уверенно измерять данные свойства в диапазоне температур от 300 до 2000 К. Вклад разработанного программно-аппаратного комплекса заключается в автоматизации процесса сбора, обработки и хранения данных, полученных во время эксперимента. Поскольку данные установки представляют разные физические объекты, то мы будем каждую из них рассматривать самостоятельно. Ниже представлены сведения о работах, выполненных авторами непосредственно.

Измерение температуропроводности производится методом температурных волн [1, 2]. Суть метода заключается в том, что измеряемый образец помещается в камеру, где одна его сторона подвергается периодическому

нагреву (в нашем случае нагрев производится излучением инфракрасного лазера), а колебания температуры другой стороны измеряются контактными (термопара) и бесконтактными (фотодиод) датчиками.

Для автоматизации установки по измерению температуропроводности было создано следующее [3, 4]:

1) Аппаратная часть. Были созданы усилительные каскады для регистрации данных с контактных и бесконтактных датчиков с возможностью предварительной конфигурации коэффициента усиления. Данные усилительные каскады помогают отдельно регулировать переменную и постоянную составляющую сигналов с датчиков. Подключение датчиков производится при помощи разъема USB. Данный разъем был выбран неслучайно: он зарекомендовал себя как надежный и долговечный разъем с возможностью одновременной передачи дифференциального сигнала и, при необходимости, питания для датчиков. Также наличие такого разъема помогает быстро переключаться между датчиками с разными характеристиками. Кроме усилительных каскадов был создан модулятор теплового излучения лазера позволяющий получить тепловую волну и сигнал синхронизации.

2) Программная часть. Представляет собой программное обеспечение для персонального компьютера, выполняющее функции сбора, обработки исходных данных и хранения полученных результатов. Программа представляет собой пользовательский интерфейс, который позволяет загружать конфигурацию текущего эксперимента (информацию об образце, усилительных и измерительных трактах, юстировочные и градуировочные данные). Процесс обработки может производиться в двух режимах. Первый режим показывает изменения теплофизических свойств в реальном времени в виде графика зависимости температуропроводности от температуры. Второй режим позволяет заново обработать исходные данные и записать результаты обработки в текстовый файл формата TSV (tab-separated values, значения, разделенные знаком табуляции). Данный режим предназначен для дальнейшей обработки

и построения графиков в любом удобном программном обеспечении, которое понимает данный формат (MS Excel, OpenOffice Calc и другие).

Установка для измерения электрического сопротивления:

1) Аппаратная часть. Для измерения электрического сопротивления было создано устройство, позволяющее измерять сопротивление четырех-зондовым методом [5, 6]. В целом, установка состоит из: лабораторного блока питания, измерительной ячейки (вакуумная камера), шунта (0,01 Ом), и разработанного устройства. Разработанное устройство представляет собой 8-канальный 24-разрядный аналого-цифровой преобразователь и коммутатор, управляемые микроконтроллером. Восемь каналов АЦП могут работать в однополярном режиме отдельно, либо в дифференциальном режиме парами. Основная идея измерения заключается в дифференциальном измерении 4-х параметров: напряжения на шунте (которое является показателем тока, протекающего через образец), падения напряжения на образце, а также напряжений 2-х термопар, приваренных непосредственно к образцу. В упрощенном случае, можно использовать отдельно стоящую термопару, 2 потенциальных и 2 токовых контакта. Коммутатор представляет собой классический H-мост, выполненный на полевых транзисторах, предназначенный для изменения направления тока, протекающего через образец. Мост управляется отдельным микроконтроллером. С помощью микроконтроллера организуется TTL-совместимый интерфейс и выполняется контроль запрета одновременного включения транзисторов, при котором возникает короткое замыкание с последующим выходом из строя полевых транзисторов.

2) Программная часть. Получаемые с аналого-цифрового преобразователя данные должны быть обработаны соответствующим образом. Во-первых, для увеличения разрешающей способности сам аналого-цифровой преобразователь настраивается на максимальное время преобразования, что позволяет значительно уменьшить количество высокочастотных шумов. Во-вторых, измерения должны производиться за минимальное количество времени для того, чтобы избежать возможной разницы между измеряемыми па-

раметрами, вызванной возможной нестабильностью нагревательного элемента или лабораторного блока питания. В-третьих, необходимо произвести программную фильтрацию данных за счет неоднократного измерения в короткий промежуток времени. В-четвертых, временная задержка между измерениями должна равняться 10 мс. Данное условие необходимо соблюдать в связи с наличием большого количества электромагнитных помех с частотой сети 50 Гц. Данные помехи вызваны наличием непосредственной близостью к образцу нагревателя, работающего с данной частотой. Данные с устройства передаются по интерфейсу USB на персональный компьютер. С программной точки зрения, данный интерфейс представляет собой виртуальный COM-порт. Данные из него могут быть получены любой терминальной программой в операционной системе. Регистрация данных также производится в терминальной программе. В рамках использования данного устройства в межотраслевом центре используется операционная система LinuxMint и терминальная программа Minicom.

Заключение. В целом, разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет автоматизировать процессы измерения, увеличить скорость измерений и их точность.

Выражаем благодарность нашему научному руководителю Ивлиеву Андрею Дмитриевичу за общее руководство работой и помощь при оформлении статьи.

Список литературы

1. *Ивлиев, А. Д.* Метод температурных волн в теплофизических исследованиях / А. Д. Ивлиев [Текст] // ТВТ. – 2009. – Т. 47. – № 5. – С. 771.
2. *Черноскутов, М. Ю.* Экспериментальная оценка степени адиабатичности образца при измерении температуропроводности методом температурных волн / М. Ю. Черноскутов, А. Д. Ивлиев, В. В. Мешков [Текст] // ТВТ. – 2017. – Т. 55. – № 4. – С. 634-637.
3. *Черноскутов, М. Ю.* Автоматизация установки для измерения теплофизических свойств веществ методом температурных волн / М. Ю. Черно-

кутов, А. Д. Ивлиев, В. В. Мешков [Текст] // IV Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ» – Санкт-Петербург: Издательско-информационный комплекс университета ИТМО, 2017. – С. 21.

4. Мешков, В. В. Модулятор теплового изучения / В. В. Мешков, А. Д. Ивлиев [Текст] // Современные методы и средства исследования теплофизических свойств веществ: сб. тр. II Междунар. науч.-практ. конф., 28-30 нояб. 2012 г. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2012. – С. 212-213.

5. Бурков, А. Т. Методы и устройства измерения термо-ЭДС и электропроводности термоэлектрических материалов при высоких температурах / А. Т. Бурков, А. И. Федотов, А. А. Касьянов, Р. И. Пантелеев, Т. Накама [Текст] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Т. 15. – № 2. – С. 173-195.

6. Соснин, А. С. Программно-аппаратный комплекс для измерения электрического сопротивления твердофазных металлов и сплавов в широком диапазоне температур / А. С. Соснин, М. Ю. Черноскутов [Текст] // Новые информационные технологии в образовании и науке: материалы X междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 27 февраля- 3 марта 2017 – С. 425.

УДК 688.72:[004.31:004.41]

Соснин А. С., Мешков В. В.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ РЕЧЕВОЙ МОДУЛЬ

Александр Сергеевич Соснин

студент

salexandr18@gmail.com

ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Россия, Екатеринбург