

УДК 004.622:004.514

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**С.Ю. ЗМИТРОВИЧ, канд. физ.-мат. наук, доц. С.А. ВАБИЩЕВИЧ,  
канд. техн. наук, Д.Н. ШАБАНОВ  
(Полоцкий государственный университет)**

*Представлена разработанная система измерений физических величин *PhyZModule*, включающая в себя микроконтроллерное устройство и программное обеспечение, позволяющее обрабатывать полученные экспериментальные данные и представлять их в виде графической информации. Показано, что на основании измерений температуры с использованием указанной системы, возможно проводить исследование коэффициента теплопроводности материалов с достаточной степенью достоверности.*

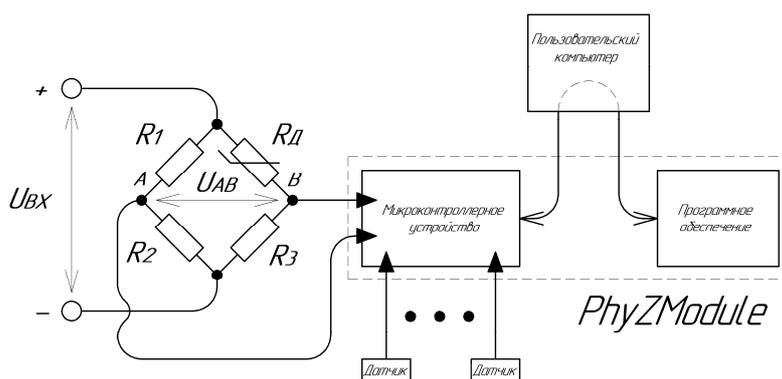
**Ключевые слова:** микроконтроллер, датчики, измерение, теплопроводность.

**Введение.** В настоящее время в различных отраслях промышленности часто возникает потребность в получении материалов с заданными свойствами, что влечет за собой необходимость определения физических характеристик материалов на различных этапах производства. Актуальными задачами при этом являются автоматизация процесса проведения измерений различных физических параметров с последующей обработкой экспериментальных данных, представление результатов в наглядной форме, повышение достоверности проведенных измерений и расчетов.

Измерение физических величин может происходить с использованием различных приборов, включая датчиковую аппаратуру [1]. Информация, поступающая от датчиков, зачастую имеет аналоговую форму, что в электронике представлено в виде напряжения, которое, в свою очередь, обрабатывается микроконтроллерным устройством (МК) и передается на компьютер пользователя (ПК).

Цель настоящей работы – проектирование системного модуля, который дает возможность на основании показаний датчиков аналоговых величин определять температуру, визуализировать характер ее изменения от времени в графической форме и рассчитывать теплопроводность материала. При этом основная задача состояла в разработке программного обеспечения (ПО) с возможностью обмена данными с микроконтроллерным устройством и построения графиков на основе проделанных измерений с последующим импортом данных в другие программные среды.

**Система проведения измерений «PhyZModule».** Графическое представление системы изображено на рисунке 1. В нее входят два основных элемента: микроконтроллерное устройство, проводящее все измерения и программное обеспечение, отображающее изменение определяемых величин. Измерения показаний датчиков производились по мостовой схеме [2].



**Рисунок 1. – Графическое представление системы «PhyZModule»**

Микроконтроллерное устройство проводит измерения, используя собственный модуль аналого-цифрового преобразователя (АЦП), который позволяет конвертировать аналоговую величину в цифровой код. Программное обеспечение является инициатором обмена данными между ПК и МК посредством виртуального COM-порта на базе USB.

На рисунке 2 представлен интерфейс разработанного программного обеспечения для осуществления измерения физических величин. Разработка интерфейса программы осуществлялась в среде «Embarcadero RAD Studio 10.3».

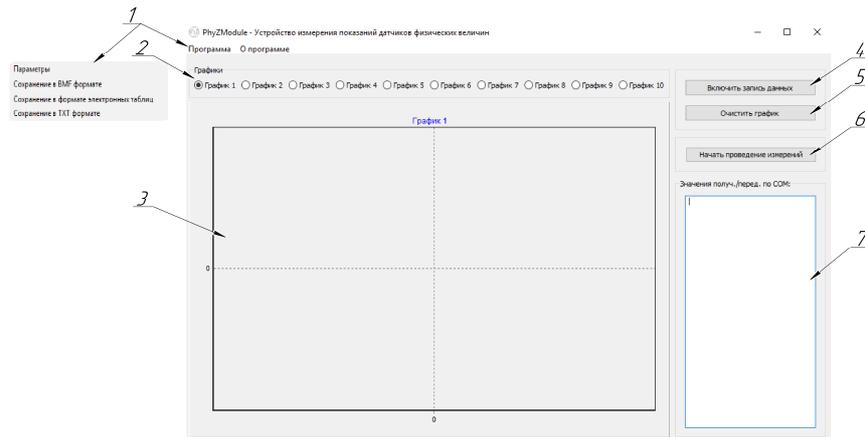
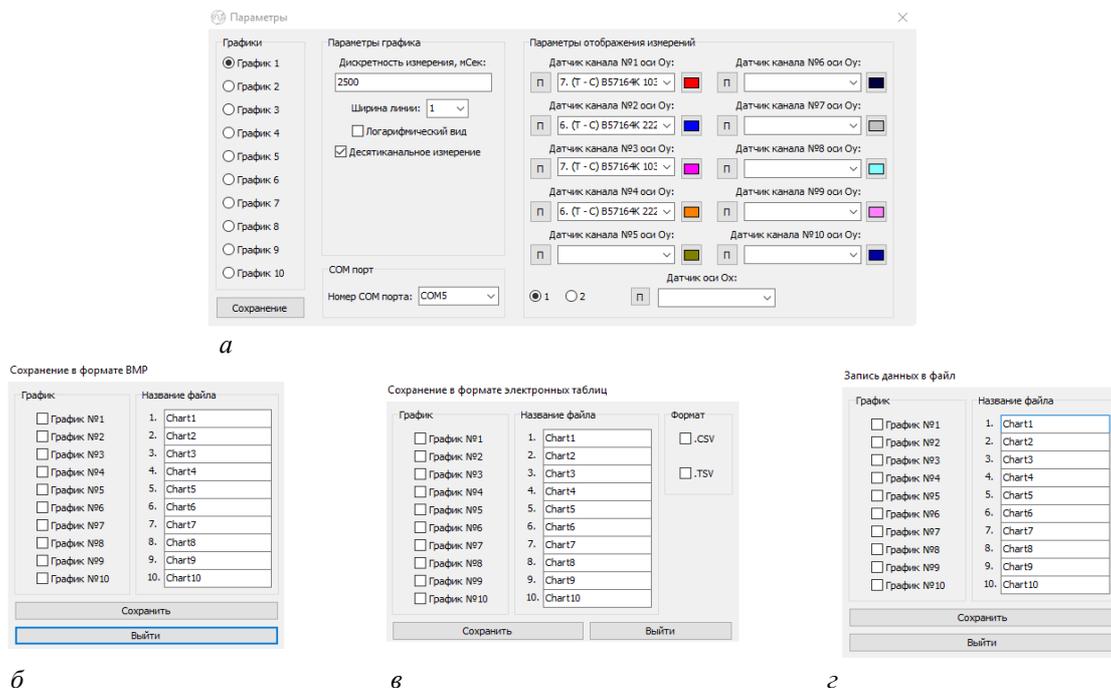


Рисунок 2. – Главное окно программы

Основным полем интерфейса является поле графиков 3, количество которых может достигать десяти. Данное поле используется для отображения всех настроенных для него измерений. Переключение между полями графиков происходит через изменение состояния переключателя 2. Кнопка 4 «Включить запись данных» предназначена для подтверждения использования выбранного поля графиков 3, после чего все измерения будут отображаться на нем. Кнопка 5 «Очистить график» используется при необходимости очистки поля графиков 3. Кнопка 6 «Начать проведение измерений» применяется для того, чтобы инициировать обмен данными между ПО и МК. После ее нажатия появится кнопка «Закончить проведение измерений», которая прекращает передачу данных. Меню 1 позволяет пользователю узнать основную информацию о программе в пункте «О программе», а также зайти в подменю программы в пункте «Программа», где существует возможность выбора формата сохранения и настроек параметров программы (рисунок 3).

Для каждого из графиков существует возможность изменения параметров: дискретности отображения; использования десятиканального измерения; цвета линии; ширины линии; логарифмического вида, использования датчика и выбора АЦП порта для канала. Произвести изменения можно пройдя по пути «Программа–Параметры», рисунок 3, а. Приложение позволяет выводить измеренную информацию в четырех форматах: *txt*; *bmp*; *tsv*, *csv*.

Рисунок 3. – Окно: а – параметров графиков; б – сохранения в *bmp* формате; в – сохранения в форматах *tsv* и *csv*; г – сохранения в *txt* формате

Использование таких форматов, как *tsv* и *csv*, является универсальным выбором, позволяющим исследователю абстрагироваться от принятия решений об использовании определенного программного обеспечения для построения электронных таблиц и проведения дальнейших действий с выведенными данными. Данные форматы импортируются практически во все офисные пакеты, например, в такие как «Microsoft Excel», «WPS SpreadSheets».

**Определения тепловых свойств материалов.** В качестве примера практического использования измерительной системы «PhyZModule» рассмотрен процесс определения тепловых свойств материалов. В работе проводились теплофизические измерения, которые позволили получить данные о температуре одновременно с нескольких датчиков; рассчитать основные параметры материала (коэффициент теплопроводности, теплоемкость, коэффициент температуропроводности) [3].

На рисунке 4 представлена схема установки по изучению тепловых свойств материалов. Установка представляет собой камеру, состоящую из двойной стенки: внутренняя стенка изготовлена из материала с известными параметрами 6, наружная – с неизвестными 7. На стенках закреплены датчики температуры 1 – 3 и 5. Внутри камеры находится инфракрасный обогреватель 4.

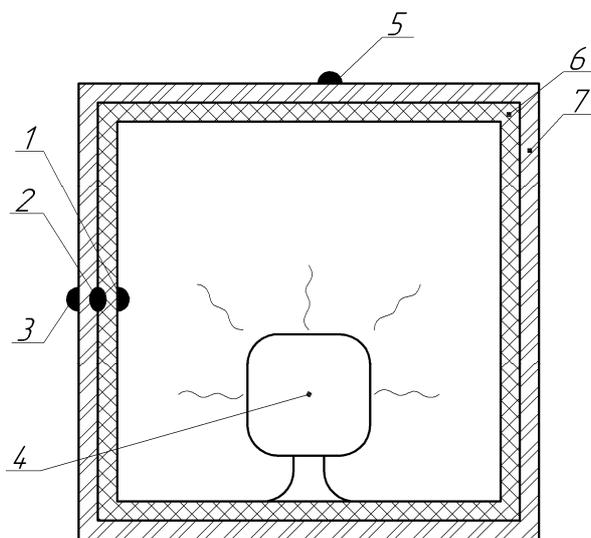


Рисунок 4. – Схема измерительной установки

Эксперимент по определению теплоизоляционных свойств материала заключался в следующем:

- 1) производили нагревание внутреннего объема установки до определенной температуры;
- 2) после отключения нагревателя осуществляли замеры температуры внутри и снаружи установки с заданным временным интервалом. Для этого использовались датчики на основе термистора с отрицательным температурным коэффициентом В57164-К 222-Ј, размещенные как представлено на рисунке 4: 1 – внутри установки; 2 – между стенками; 3 – снаружи на боковой стенке; 5 – снаружи на верхней стенке.

Для определения коэффициента теплопроводности использовался известный способ «вспомогательной стенки» [4]. Два слоя материала размещаются на источнике тепла, один из материалов с известным коэффициентом теплопроводности  $\lambda_1$ , для второго материала коэффициент теплопроводности определяется по формуле

$$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{t_1 - t_2}{t_2 - t_3},$$

где  $d_1$  – толщина материала с известным коэффициентом теплопроводности (в эксперименте использовался пенополистирол, с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_1 = 0,035$  Вт/(м·К);

$t_1$  – температура внутренней поверхности первого слоя;

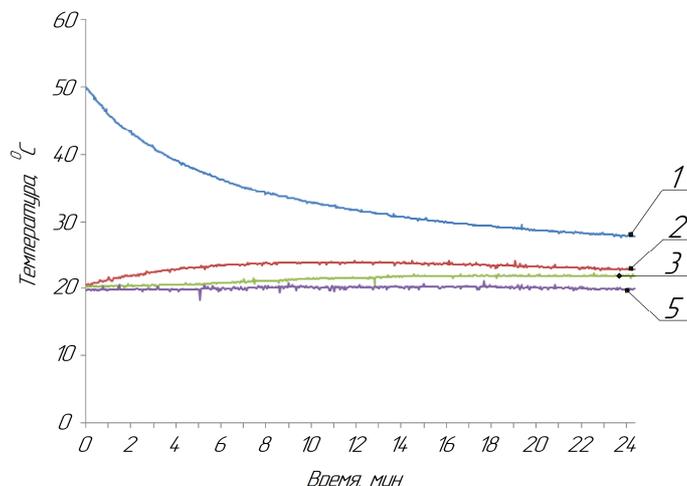
$t_2$  – температура между слоями стенки;

$t_3$  – температура наружной поверхности второго слоя;

$d_2$  – толщина слоя, коэффициент теплопроводности которого определяется.

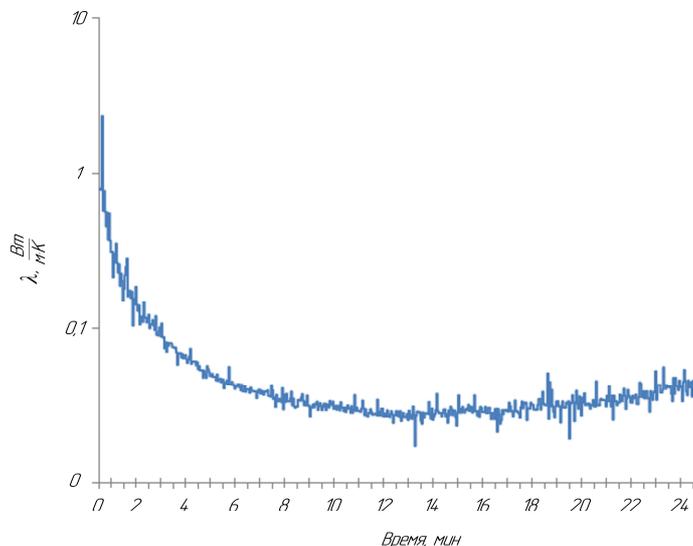
На рисунках 5 и 6 представлены зависимости показаний датчиков температуры от времени наблюдения, полученные с использованием системы «PhyZModule», и рассчитанного коэффициента теплопроводности исследуемого материала. После включения инфракрасного нагревателя в камере темпе-

ратура, показываемая датчиком 1, достигала значения 50–60°C за несколько минут. Затем обогреватель выключали. Система фиксировала изменение температуры датчиков в течение 30 мин (см. рисунок 5).



**Рисунок 5. – Зависимость показаний датчиков температуры от времени в теплофизической установке. Номера кривых соответствуют номерам датчиков**

Из полученной зависимости рассчитанного коэффициента теплопроводности от времени наблюдения (см. рисунок 6) видно, что показания датчиков выходили на стационарный уровень через 10–14 мин после отключения нагревателя, что было учтено при проведении эксперимента по определению коэффициента теплопроводности.



**Рисунок 6. – Зависимость рассчитанного коэффициента теплопроводности от времени наблюдения**

Представленные на рисунке 6 данные свидетельствуют о том, что рассчитанное значение  $\lambda_2$  снижается с течением времени. Указанный процесс носит нестационарный характер. Истинное значение  $\lambda_2$  можно определить в случае, когда градиент температуры является постоянной величиной, что, по данным эксперимента, имело место через 10–14 мин после выключения нагревателя, когда  $\lambda_2$  достигло минимального значения. Рассчитанный в настоящей работе коэффициент теплопроводности равен 0,019 Вт/(м·К). В качестве материала с неизвестными характеристиками выступил пенополиуретан с табличным значением  $\lambda_2 = 0,020$  Вт/(м·К). Погрешность в измерении составила величину не более 5%, что свидетельствует о достаточно высокой достоверности экспериментальных данных, полученных при измерениях с использованием системы PhyZModule. Таким образом, установлено, что представленная в работе методика пригодна для оценки тепловых характеристик материалов (коэффициент теплопроводности).

**Заключение.** Разработанная система PhyZModule, включающая в себя измеряющее микроконтроллерное устройство и программное обеспечение к нему, способствует повышению степени автоматизации процесса измерения физических характеристик материалов. Возможность получения большого количества графической информации, наглядность ее представления, использование различных форматов вывода информации делают разработанную систему универсальной для проведения физических измерений. Указанная система может быть использована для организации образовательного процесса по физике и иным дисциплинам естественнонаучного и инженерно-технического профиля. Представленные в работе результаты по применению системы PhyZModule для проведения теплофизических измерений и расчета коэффициента теплопроводности материала свидетельствуют о возможности и эффективности ее использования в научно-исследовательской деятельности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Змитрович, С.Ю. Обработка аналоговых сигналов датчиковой аппаратуры [Электронный ресурс] / С.Ю. Змитрович, С.А. Вабищевич // Информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации (ИКТ-2018) : электронный сборник статей I международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 14–15 июня 2018 г. / Полоцкий государственный университет. – Новополоцк, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 272–275.
2. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием [Электронный ресурс] / В.В. Денисенко. – М. : Горячая линия – Телеком, 2013. – 607 с. – Режим доступа: <https://lib-bkm.ru/12906>.
3. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. – 5-е изд. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
4. Анисимов, М.В. Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких композиционных теплоизолирующих покрытий / М.В. Анисимов, В.С. Рекунов // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326, № 9: Инжиниринг георесурсов. – С. 15–22.

Поступила 26.03.2019

#### AUTOMATED PHYSICAL MEASUREMENT SYSTEM

S. ZMITROVICH, S. VABISHCHEVICH, D. SHABANOV

*The developed system for measuring physical quantities PhyZModule, which includes a microcontroller device and software, allows to process the experimental data and present them in the form of graphical information. It is shown that, on the basis of temperature measurements carried out using this system, it is possible to conduct a study of the thermal conductivity of materials with a sufficient degree of reliability.*

**Keywords:** microcontroller, sensors, measurement, thermal conductivity.