
300 лет Санкт-Петербургу
Материалы XXXII конференции СПбГИТМО(ТУ)

УДК 536.2, 681.2

© Е. С. Платунов, И. В. Баранов, А. Е. Платунов

КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ

В статье рассматривается комплекс автоматизированных приборов, который может быть использован при решении различных задач технологического, научно-исследовательского и учебного характеров. Приведены характеристики шести различных приборов, позволяющих производить измерение теплоемкости, теплопроводности, энтальпии и криоскопической температуры для жидких, сыпучих и плотных веществ. Рассмотрена структура системы автоматического управления комплексом, приведены особенности организации программного обеспечения, в том числе возможности пользовательского программирования.

ВВЕДЕНИЕ

Коллективами кафедры физики Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ) и кафедры вычислительной техники Санкт-Петербургского государственного института точной механики и оптики (Технического Университета) (СПбГИТМО (ТУ)) в течение последних пятнадцати лет выполняются совместные разработки в области создания автоматизированных приборов для измерений теплофизических характеристик веществ. Целью данных исследований является: разработка новых тепловых методов; создание измерительных ячеек; проектирование и производство специализированных электронно-вычислительных устройств (контроллеров). В результате проведенных совместно исследований разработан комплекс автоматизированных приборов, который может быть использован при решении различных задач технологического, научно-исследовательского и учебного характеров [1–3].

В состав разработанного комплекса входят самостоятельные приборы, которые позволяют в совокупности измерять следующие теплофизические характеристики: теплопроводность и тепловое сопротивление; температуропроводность; теплоемкость; энтальпию; теплоту фазовых и структурных превращений; количество вымороженной влаги; исходное влагосодержание; криоскопическую температуру; мощность внутренних тепловых источников, сопровождающих химические реакции, процессы растворения и окисления. В качестве объектов исследований могут быть использованы любые конденсированные (твердые и жидкие) вещества и материалы неорганической и органической природы (теплоизоляторы, строительные

и конструкционные материалы, полимеры, пищевые продукты, полупроводники, металлы и др.).

КРАТКИЙ ОБЗОР ПРИБОРОВ

В настоящее время разработаны и используются следующие приборы: ИТС-λ-1, ИТС-с-2, ИТС-λс-3, ИТС-с-4, ИТС-с-5, ИТС-q-6.

Прибор ИТС-λ-1 предназначается для измерений теплопроводности и теплового сопротивления разнообразных теплоизоляционных, строительных и конструкционных материалов вблизи комнатной температуры. Прибор позволяет исследовать плотные, мелкодисперсные и воздушно-пористые материалы с теплопроводностью 0.03 ... 20 Вт/(м·К). Измерения проводятся на плоских образцах площадью 5 ... 100 см² и толщиной 0.5 ... 40 мм. Возможны разрушающие измерения листовых материалов (без вырезки образца). В процессе проведения опыта осуществляется односторонний нагрев образца электрическим источником постоянной мощности. Длительность опыта колеблется в пределах от 3 до 30 минут (зависит от толщины и свойств материала).

Прибор ИТС-с-2 используется для исследования тепловых и влажностных характеристик влагосодержащих материалов в области температур от –30 до 20 °С. Имеется возможность производить исследование тепловых свойств обычных веществ и материалов. Используются образцы объемом ~5 см³. Опыты могут проводиться в режимах замораживания и размораживания образца. В опыте комплексно определяются энтальпия, эффективная и истинная теплоемкость, дифференциальная и интегральная теплота фазовых превращений, доля вымороженной влаги, криоскопическая температура образца. Для предварительного

охлаждения образца или ячейки пригодна любая типовая морозильная камера с рабочим объемом ~5 литров и более. Ампула с образцом монотонно охлаждается или нагревается в температурном диапазоне ($-30 \dots 20$) °С. В зависимости от влагосодержания образца опыт может продолжаться от 10 до 40 минут. Обработка результатов эксперимента производится с использованием персонального компьютера по специальной программе.

Прибор ИТС-лс-3 предназначается для измерения теплопроводности и теплоемкости при атмосферном давлении в области температур от -30 до 80 °С. Исследоваться могут любые жидкости и пастообразные вещества, пищевые продукты и полуфабрикаты с теплопроводностью $0.10 \dots 1.0$ Вт/(м·К). Измерения проводятся в открытой среде. Образцы размещаются в специальных ампулах объемом $10 \dots 40$ см³. Теплопроводность и теплоемкость определяются в независимых опытах в разных ампулах. Опыт проводится в режиме регулярного нагрева или охлаждения образца. Образец предварительно нагревается или охлаждается, а затем помещается в тепловую ячейку, находящуюся в среде комнатной температуры. Для предварительного нагрева выше 20 °С используется малогабаритная печка, а для предварительного охлаждения ниже 20 °С — типовая морозильная камера с рабочим объемом ~2 литра или бытовой холодильник. При этом подготовка ампулы к опыту не превышает 10 минут, а длительность опыта составляет примерно $3 \dots 10$ минут (в зависимости от свойств образца).

Прибор ИТС-с-4 предназначен для исследования тепловых и влажностных характеристик материалов в области температур от -30 до 20 °С. Имеется возможность производить исследование тепловых свойств обычных веществ и материалов. Используются образцы объемом ~20 см³. Опыты могут проводиться в режимах замораживания и размораживания образца. В опыте комплексно определяются энтальпия, эффективная и истинная теплоемкость, дифференциальная и интегральная теплота фазовых превращений, доля вымороженной влаги, криоскопическая температура (температура начала замерзания влаги в образце). Для охлаждения образца или ячейки пригодна любая типовая морозильная камера с рабочим объемом ~5 литров и более (в комплект прибора не входит). Ампула с образцом монотонно охлаждается или нагревается в температурном диапазоне от -30 до 20 °С. В зависимости от влагосодержания образца опыт может продолжаться $10 \dots 40$ минут. Обработка опыта производится с привлечением компьютера по специальной программе. Погрешность измерений отвечает требованиям, которые предъявляются к лабораторным исследованиям.

Прибор ИТС-с-5 предназначен для измерения

теплоемкости при атмосферном давлении в области температур от -30 до 80 °С. Исследоваться могут любые твердые материалы и жидкости. Измерения проводятся в открытой среде. Образцы размещаются в специальных ампулах объемом $10 \dots 40$ см³. Опыт проводится в режиме регулярного нагрева или охлаждения ампулы с образцом. Ампула и образец предварительно нагреваются или охлаждаются, а затем помещаются в тепловую ячейку, находящуюся в среде комнатной температуры. Для предварительного нагрева выше 20 °С используется малогабаритная печка, а для предварительного охлаждения ниже 20 °С — типовая морозильная камера с рабочим объемом 2 литра или бытовой холодильник (в комплект прибора не входит). Время подготовки ампулы к опыту не превышает 10 минут. Опыт продолжается примерно $3 \dots 10$ минут (в зависимости от свойств образца). Нормированная погрешность не превышает $3 \dots 5\%$.

Прибор ИТС-г-6 предназначается для измерения внутренних тепловых источников, возникающих при химических реакциях, в процессах растворения, окисления и т. п. Исследоваться могут химически неактивные вещества. Измерения проводятся в открытой среде. Исследуемое вещество размещается в специальной ампуле объемом $20 \dots 40$ см³. Опыт проводится в изотермической среде комнатной температуры. Регистрируется тепловой поток, генерируемый или поглощаемый исследуемым веществом. Длительность опыта определяется особенностями процесса, сопровождающегося выделением или поглощением теплоты. Чувствительность прибора составляет примерно 0.1 мВт.

Данные приборы прошли аттестацию в НПО ВНИИМ им. Д.И. Менделеева (Санкт-Петербург) и обеспечивают точность проведения исследований с погрешностью $3 \dots 7\%$.

Условия применения приборов приведены в таблице.

По своему конструктивному исполнению вышеуказанные приборы являются настольными и выполнены в виде двух блоков: тепловой ячейки и электронного управляющего пульта. В комплект может входить дополнительное нагревательное устройство. Каждый индивидуальный прибор занимает на лабораторном столе площадь не более 0.5 м² (без морозильной камеры). Все приборы оснащены специализированным контроллером, обеспечивающим автоматизированное управление опытом и электронно-вычислительную обработку информации. Предусмотрена возможность дополнительного анализа результатов с помощью персонального компьютера.

Тепловая ячейка обеспечивает заданный тепловой режим опыта и снабжена соответствующими первичными датчиками температуры и тепловых потоков.

Условия использования приборов ИТС

Условия	Тип прибора					
	ИТС-λ-1	ИТС-с-2	ИТС-λс-3	ИТС-с-4	ИТС-с-5	ИТС-q-6
Материалы	Плотные, мелкодисперсные и воздушно-пористые	Твердые неметаллические	Инертные жидкости	Различные вещества и материалы	Твердые материалы и жидкости	Химически неактивные вещества
Размеры образца	Площадь 5...100 см ² , толщина 0.5...40 мм	Площадь 5...100 см ² , толщина 0.5...40 мм	Ампула объемом ~40 см ³	Образцы объемом ~20 см ³	Ампула объемом 10...40 см ³	Ампула объемом 20...40 см ³
Рабочая t , °C	-30 ...+80	-30 ...+80	-30 ...+80	-30 ...+20	-30 ...+80	Комнатная
Длит. опыта	3... 30 мин	3...20 мин	3...10 мин	10...40 мин	3...10 мин	*
Погрешность	3...7 %	3...7 %	5 ... 7 %.	**	3...5 %	***

Примечание. * — определяется особенностями процесса, сопровождающегося выделением или поглощением теплоты;

** — погрешность измерений отвечает требованиям, которые предъявляются к лабораторным исследованиям;

*** — чувствительность прибора составляет примерно 0.1 мВт.

ОПИСАНИЕ КОНТРОЛЛЕРА ТФК 2.1

Приборы ИТС-λ-1, ИТС-с-2, ИТС-λс-3, ИТС-с-4, ИТС-с-5, ИТС-q-6 построены на базе различных модификаций микропроцессорных контроллеров ТФК-2.1 [4].

В зависимости от исполнения (удаленный измерительный контроллер или изолированная система снятия измерений) контроллер может быть укомплектован высококонтрастным жидкокристаллическим дисплеем с разрешающей способностью 240 × 128 точек и сенсорной панелью управления, которая обеспечивает интуитивно-понятный интерфейс пользователя с ведением протокола измерений. Сенсорная панель позволяет пользователю управлять процессами теплофизических измерений подобно управлению приложениями популярных в настоящее время карманных ПК.

Для связи с инструментальным компьютером

или для объединения устройств в систему семейство контроллеров предоставляет обширный набор возможностей. Имеется возможность подключения контроллера к инструментальной системе по популярным промышленным интерфейсам RS485 или CAN, обладающим повышенной устойчивостью к помехам. Возможно размещение теплофизического контроллера на большом расстоянии от инструментальной системы (до 0.5 км, скорость передачи данных до 125 Кбит/с) или объединение контроллеров в сеть для сбора данных от пространственно распределенных объектов наблюдения.

Контроллер может связываться с инструментальной системой с использованием популярного интерфейса RS232 (скорость передачи данных до 115 Кбит/с) для прямого подключения к персональным компьютерам при проведении экспериментов вблизи объекта наблюдения или при передаче журнала измерений.

Интерфейсы связи обладают повышенной надежностью за счет гальванической изоляции информационных каналов (до 1.5 кВ).

Контроллер может работать в широком диапазоне питающих напряжений: от 9 до 40 В постоянного тока или от сети 220 В. При этом в зависимости от аппаратной конфигурации потребляемая мощность контроллера может варьироваться в диапазоне от 0.5 Вт до 2–3 Вт. Контроллер имеет

средства обеспечения надежного функционирования и самостоятельно следит за качеством питающего напряжения, обеспечивая корректное функционирование в системах с перепадами питающего напряжения за счет специализированных механизмов контроля питания.

Контроллер ТФК 2.1 (рис. 1) содержит следующие вычислительные ресурсы и средства сопряжения с измерительными ячейками.



Рис. 1. Структура ТФК 2.1

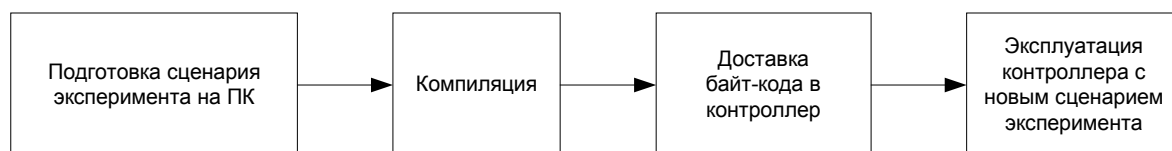


Рис. 2. Этапы подготовки сценария эксперимента

- Микроконтроллер MB90F549G с архитектурой FM²C-16LX (фирмы Fujitsu), 16 MHz.
- Внешнее статическое ОЗУ 128...512 Кб, используемое как память программ или данных.
- Энергонезависимая память E2PROM объемом 8...32 Кб.
- Часы реального времени DS2417 (Dallas Semiconductor).
- До четырех независимых каналов подключения цифровых термодатчиков DS1820 посредством интерфейса uLAN.
- Звуковой излучатель.
- До четырех каналов аналогового ввода с 10-разрядным АЦП, входными аттенюаторами — схемами предварительного усиления слабых сигналов для проведения некритичных по точности измерений с использованием встроенного в МК АЦП.
- До четырех гальванически изолированных дискретных входов на широкий диапазон напряжений.
- До четырех гальванически изолированных транзисторных выходов.

Одним из наиболее важных блоков контроллера является его прецизионный аналоговый интерфейс для проведения широкого класса теплофизических измерений.

Для мониторинга температуры с помощью термисторов или резистивных датчиков температуры (RTD) для возбуждения датчиков контроллер может быть укомплектован шестью прецизионными источниками тока величиной 50 ... 200 мкА.

Имеется возможность проведения измерений по 10 каналам прецизионных аналоговых входов.

В качестве прецизионного АЦП в контроллере используется ИС AD7719. Эта микросхема обладает высоким разрешением, что характерно для сигма—дельта преобразователей (без пропущенных кодов); при этом каждое аналого-цифровое преобразование выполняется сигма—дельта модулятором второго порядка с программируемым фильтром.

В AD7719 присутствуют:

- два независимых АЦП (24-разрядный и 16-разрядный);
- встроенная система калибровки;
- возможность настройки цифрового фильтра в широких пределах.

Необходимо отметить, что входные и выходные аналоговые цепи контроллера (в зависимости от конфигурации) могут быть защищены специализированными схемами, ограждающими прецизионные и дорогостоящие внутренние аналоговые схемы от опасных значений напряжений, которые могут возникать при сопряжении контроллера и объекта измерений.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЛЕРОВ ТФК 2.1

Контроллеры ТФК могут комплектоваться программным обеспечением двух базовых направлений. Первый вариант предполагает наличие жестко заданного алгоритма проведения измерений. Такой вариант удобен для проведения серий заранее известных экспериментов. Во втором варианте (рис. 2) предполагается обеспечение возможности изменения алгоритма управления экспериментом конечным пользователем. Программирование эксперимента может производиться на языке высокого уровня.

Гибкость второго варианта позволяет осуществлять предварительную обработку данных, изменять в широких пределах параметры эксперимента, регулировать последовательность и количество шагов измерений.

Используемый в приборе подход к организации вычислительного процесса не требует от конечного пользователя специальных знаний в области программирования контроллеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключев А.О., Баранов И.В., Платунов Е.С., Самолетов В.А. Автоматизированный цифровой измеритель теплоемкости пищевых продуктов // Проблемы теплофизики и теплообмена в холодильной технике: Межвуз. сб. науч. тр. СПб.: СПбГАХИПТ, 1994. С. 24.
2. Баранов И.В., Курепин В.В., Самолетов В.А., Частый В.Л. Автоматизированный цифровой измеритель теплоемкости // Теплофизические свойства холодильных агентов и процессы теплообмена: Межвуз. сб. науч. тр. СПб.: СПбГАХИПТ, 1995. С. 17–20.
3. Баранов И.В., Прошкин С.С., Платунов А.Е. Современный физический практикум // Сб. тезисов докладов VII учебно-методической конференции стран Содружества. СПб., 2002. С. 232–233.
4. (<http://embedded.ifmo.ru>). Кафедра вычислительной техники СПбГИТМО (ТУ), сайт Лаборатории микропроцессорной техники.

Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий (Платунов Е.С., Баранов И.В.)

Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики (Технический университет) (Платунов А.Е.)

Материал поступил в редакцию 15.04.2003.

A COMPLEX OF AUTOMATED DEVICES FOR THERMAL MEASUREMENTS

E. S. Platunov, I. V. Baranov, A. E. Platunov*

Saint-Petersburg State University of Low Temperature and Foodstuff Technologies
**Saint-Petersburg State Institute of Fine Mechanics and Optics (Technical University)*

In the article a complex of automated devices, which can be used to solve various problems in research, technology and education is considered. Characteristics of six different devices are given, allowing one to measure thermal capacity, heat conductivity, enthalpy and cryoscopic temperature for liquid, loose and solid substances. The structure of the automatic control system of the complex, software architecture and user programming tools are described.