

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПЛОСКОГО «МГНОВЕННОГО» ИСТОЧНИКА ТЕПЛОТЫ**

**А. В. ГУРОВ**

*Воронежский институт государственной противопожарной службы МЧС России,  
Воронеж, Россия, e-mail: kafedra@uks.tstu.ru*

*Рассмотрены основные составные части информационно-измерительной управляющей системы, состоящей из измерительной ячейки и комплекта согласующих устройств, необходимых для подключения ячейки к компьютеру через плату сбора данных.*

**Ключевые слова:** измерительная ячейка, нагреватель, термопара, плата сбора данных, коробка холодных спаев.

*The main components of the information and measuring managing director of the system consisting of a measuring cell and a set of coordinating devices, necessary for connection of a cell to the computer through a data collection payment are considered.*

**Key words:** measuring cell, heater, thermocouple, data collection payment, box cold having soldered.

### **Состав разработанной и изготовленной экспериментальной установки.**

На основе предложенного в [1] метода плоского «мгновенного» источника теплоты [2] была разработана и изготовлена экспериментальная установка, представляющая собой информационно-измерительную управляющую систему (ИИУС), структурная схема которой приведена на рис. 1 и состоит из следующих частей.

Измерительная ячейка *ИЯ* внутри которой смонтированы три составных элемента образца, изготовленные из исследуемого материала. Первый (тонкий) элемент 2 представлен пластиной толщиной  $x_0$ . К точности его изготовления предъявляют наиболее высокие требования: верхняя и нижние поверхности пластины должны отстоять друг от

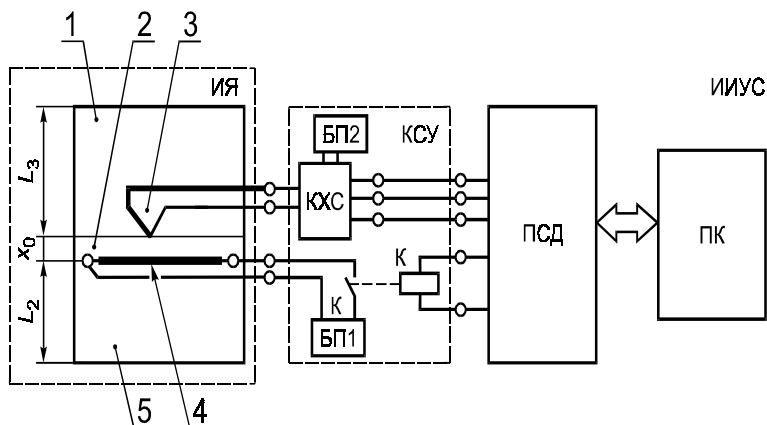


Рис. 1. Структурная схема информационно-измерительной управляющей системы:

1, 2, 5 – составные элементы образца; 3 – хромель-копелевая термопара; 4 – электрический нагреватель;  $L_2$ ,  $L_3$  – высоты элементов исследуемого материала; ИЯ – измерительная ячейка; БП1, БП2 – блоки питания; КХС – коробка холодных спаев; К – промежуточное реле; КСУ – коробка холодных спаев; ПДС – плата сбора данных; ПК – персональный компьютер

друга на  $x_0$  мм с отклонением не более 0,05 – 0,1 мм и быть параллельны. Второй и третий элементы 1, 5 также должны быть выполнены из исследуемого материала, причем наиболее высокие требования предъявляют к обработке верхней поверхности элемента 5 и нижней элемента 1. Они должны представлять собой плоскости с отклонением не более 0,05 – 0,1 мм.

Нагреватель 4 сделан из тонкой пермаллоевой фольги и размещается между нижней и верхней плоскостями элементов 2 и 5, соответственно. В ходе эксперимента на него с блока питания БП через контакт реле К (катушка подключена к дискретному выходу платы сбора данных) подается импульс постоянной мощности, действующий в промежутке  $0 \leq \tau \leq \tau_{\text{и}}$ , где  $\tau_{\text{и}}$  – длительность импульса;

Хромель-копелевая термопара 3 измеряет температуру  $T(x_0, \tau)$  в плоскости (между верхней поверхностью элемента 2 и нижней элемента 1) на расстоянии  $x_0$  от нагревателя 4, как на этапе подготовки (для контроля стационарного режима работы), так и на протяжении всего эксперимента (для регистрации температурного отклика  $T(x_0, \tau)$ )

образца исследуемого материала на тепловой импульс  $Q_n$ , подведенный к образцу в плоскости  $x=0$ ).

Плата сбора данных *ПСД*, управляемая программой, созданной в лицензионной среде LabVIEW, используется при проектировании, разработке и испытании виртуальных приборов. В данном случае она необходима для измерения и регистрации в персональном компьютере *ПК* первичной информации, поступающей с термопары 3, а также для включения и отключения питания нагревателя 4.

Комплект согласующих устройств *КСУ* состоит из коробки холодных спаев *КХС* со встроенным интегральным датчиком температуры, промежуточного реле *К* и блоков питания *БП1*, *БП2*, обеспечивающих взаимное согласование входных и выходных сигналов *ИЯ* и *ПСД*.

Персональный компьютер *ПК*, входящий в состав *ИИУС*, необходим для:

- измерения и регистрации первичной информации;
- управления ходом эксперимента (определения степени завершенности подготовительной стадии и информирования оператора об этом, а при необходимости осуществления автоматического перехода к выполнению активной стадии эксперимента);
- обработки и хранения первичной экспериментальной информации и вычисления искомых значений искомых теплофизических свойств исследуемого материала.

**Устройство измерительной ячейки.** Для экспериментального измерения температуропроводности  $a$ , объемной теплоемкости  $c_p$  с последующим вычислением теплопроводности  $\lambda = ac_p$  была использована измерительная ячейка, устройство которой изображено на рис. 2 и состоит из следующих основных элементов.

Образец исследуемого материала выполнен в виде трех элементов 3, 7, 9. Толщина  $x_0$  элемента 7 вдоль оси  $x$  выбирается в зависимости от значений теплофизических свойств исследуемого теплоизоляционного материала в пределах 2 – 6 мм. Высоты  $L_2$ ,  $L_3$  вдоль оси  $x$  элементов 3, 9 исследуемого материала должны быть не менее 60 мм.

Электрический нагреватель 5 находится между элементами 7 и 3 образца. Размеры всех элементов исследуемого образца вдоль осей  $y$ ,  $z$  выбирались исходя из размеров электронагревателя, выполненного из листа пермаллоя, закрепленного в электроизоляционных (диэлектрических) держателях 6 и равны  $H_y = H_z = 90$  мм. Для получения желаемой величины электрического сопротивления  $R_n = 1,57$  Ом нагревателя 5 в листе пермаллоя были выполнены прорези 4, а крайние элементы

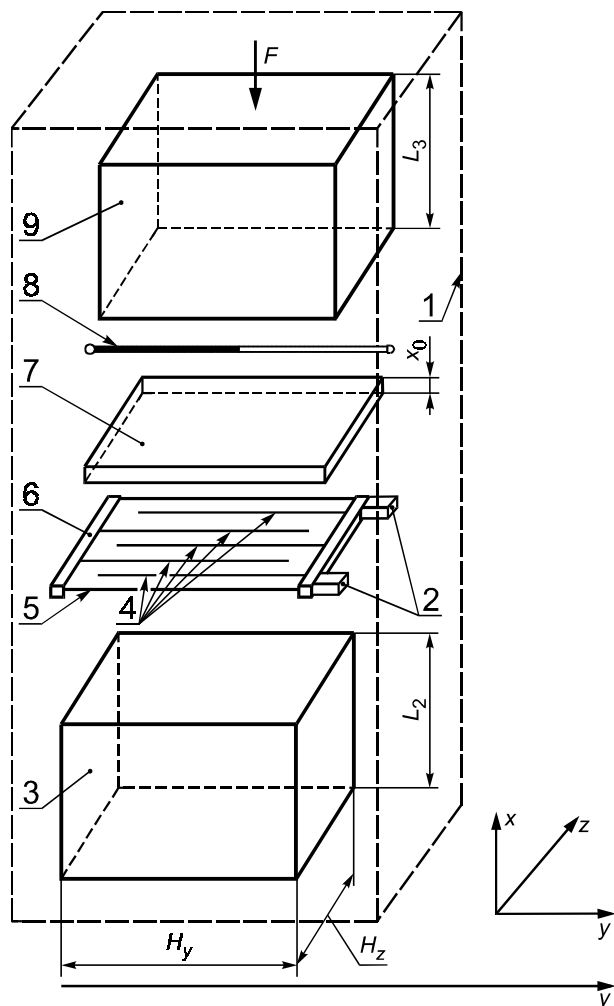


Рис. 2. Структурная схема измерительной ячейки и взаимного расположения ее составных частей:

1 – легкоусъемная теплоизоляция; 2 – электрические контакты; 3, 7, 9 – составные элементы образца; 4 – прорези; 5 – электрический нагреватель; 6 – диэлектрический держатель; 8 – хромель-копелевая термопара;  $F$  – сила груза постоянной массы;  $L_2$ ,  $L_3$  – те же, что на рис. 1;  $H_y$ ,  $H_x$  – размеры элементов образца

получившегося прорезного нагревателя снабжены электрическими контактами 2, к которым подключены провода, подающие ток.

Первичный измерительный преобразователь температуры представляет термопару 8, сваренную встык (из хромелевых и копелевых проводов) и размещаемую между элементами 7 и 9 исследуемого образца. Легкосъемная теплоизоляция, условно показанная на рис. 2 в виде пунктирных линий 1, сделана из пенопласта в виде трех составных частей, внутренние размеры которых на 2 – 3 мм превышают внешние элементы 3, 7 и 9. Для снижения тепловых сопротивлений, возникающих в местах контактов элементов 3 и 7 с нагревателем 5 и 7, 9 между собой и с термопарой 8, конструкция ИЯ предусматривает использование груза постоянной массы, создающего силу  $F$ , показанную на рис. 2 стрелкой и обеспечивающую взаимное прижатие элементов 3, 7, 9 друг к другу, к нагревателю 5 и термопаре 8 с постоянным усилием, что стабилизирует величину тепловых сопротивлений и снижает до минимума их влияние на результаты измерения температуры- и теплопроводности и объемной теплоемкости.

Схема подключения ИЯ к персональному компьютеру представлена на рис. 3. В ней помимо ранее описанных элементов использована плата сбора данных ПСД NI USB6211 фирмы National Instruments, коробка холодных спаев КХС, в составе которой входит интегральный датчик температуры ДА1, необходимый для введения поправок на температуры свободных концов термопары, изготовленной из хромелевого и копелевого проводов, подключаемых к разъему  $X_3$ . Соединение КХС со стороны разъема  $X_2$  и платы ПСД выполняется обычными медными проводами, а информация об измеренной температуре с ДА1 подается на входы A102 и GND. Бесконтактное реле Т07071 управляет работой промежуточного реле К по команде с платы NI USB6211, которое через свой контакт обеспечивает подачу питания (с источника постоянного напряжения ИПН-2-10) на электрический нагреватель 3 ИЯ. Вторым источником питания Б5-48 используется для питания промежуточного реле К и интегрального датчика температуры ДА1.

**Алгоритм функционирования ИИУС** показан на рис. 4 в виде поточной диаграммы и предусматривает следующие этапы работы:

подготовку элементов образца к измерению теплофизических свойств, определение их размеров и монтаж в ИЯ;

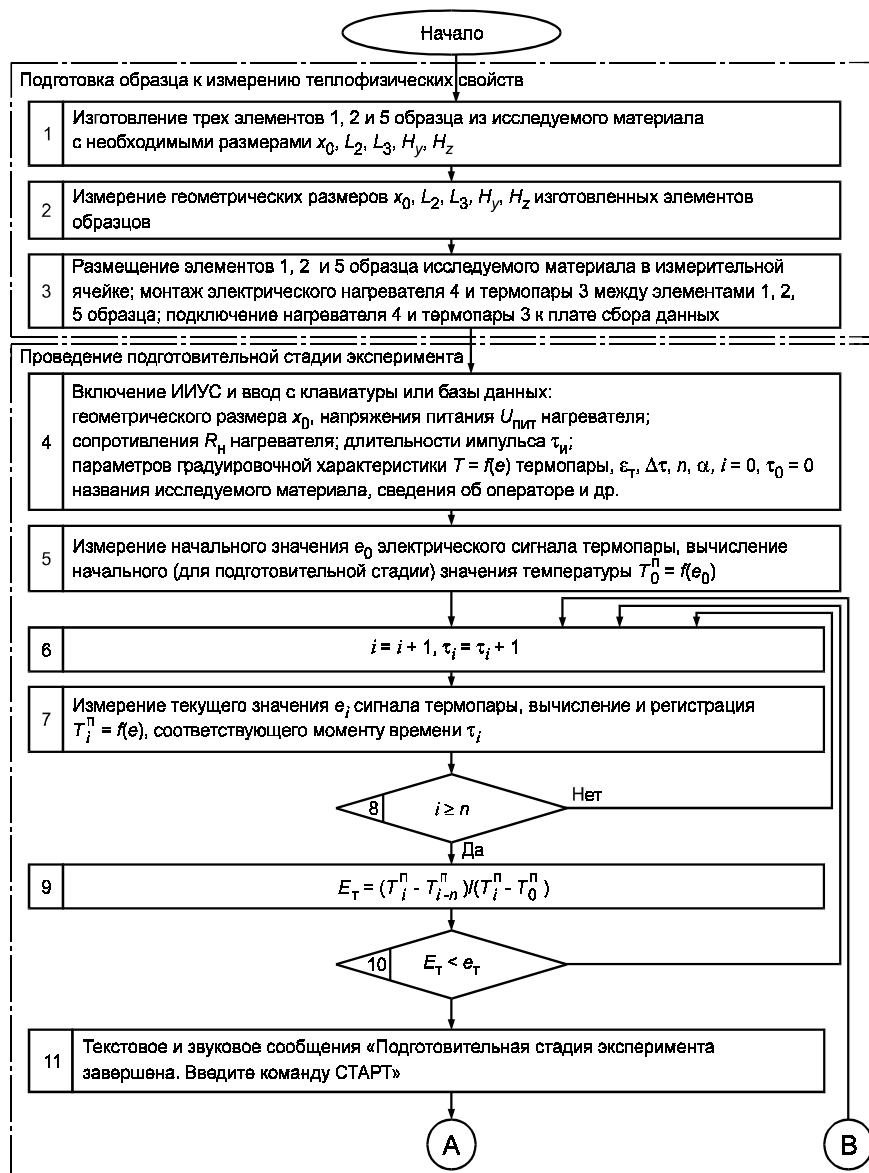
проведение и контроль подготовительной стадии, а также информирование оператора об ее окончании;

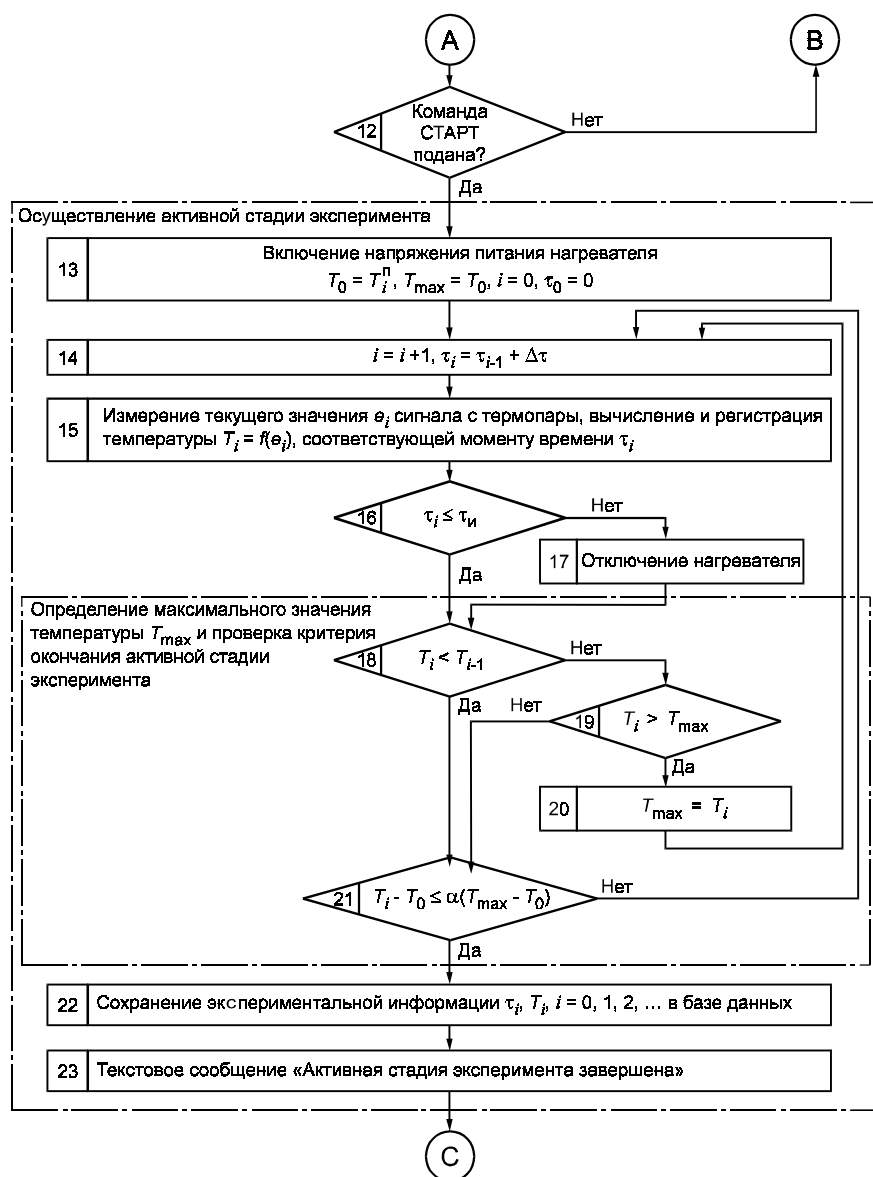


выполнение активной стадии, в том числе определение максимального значения температуры  $T_{\max}$  и последующую проверку критерия ее окончания;

обработку экспериментальных данных по расчетным зависимостям [1], сохранение результатов в базе данных и печать протокола испытаний.

Выполненные с использованием ИИУС экспериментальные измерения теплофизических свойств образцов, изготовленных из полиметилметакрилата с известными свойствами  $a \approx 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $\lambda \approx 0,19 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$ ,  $c_p \approx 1,73 \cdot 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{град})$ , показали, что экспериментальная установка и разработанный метод плоского «мгновенного» источника теплоты обеспечивают измерения теплофизических свойств с приемлемыми погрешностями в пределах 7 – 15 %.





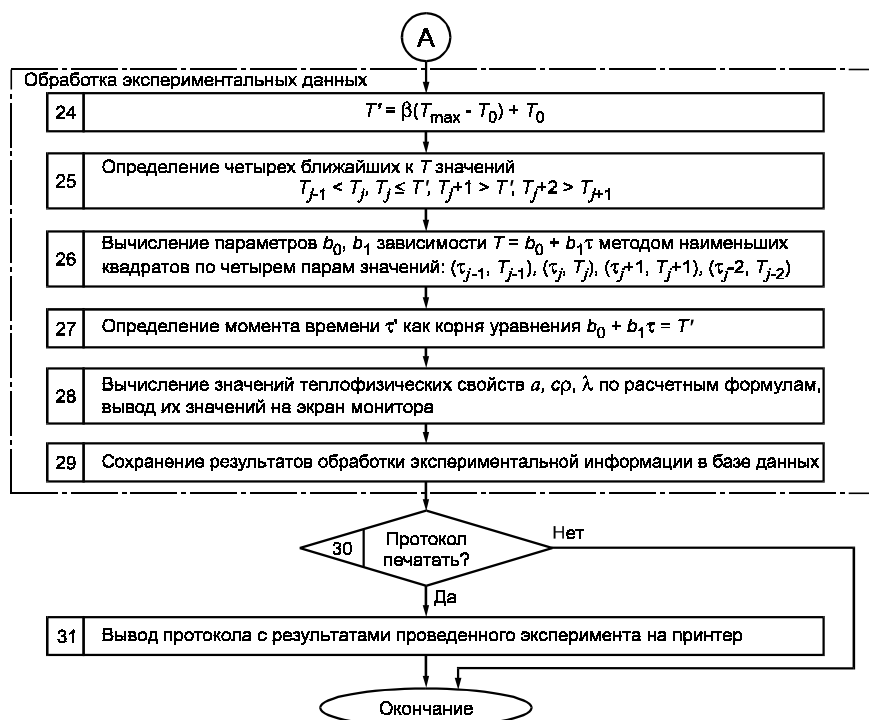


Рис. 4. Поточная диаграмма алгоритма работы информационно-измерительной управляющей системы

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Гуров А. В. и др.** Выбор оптимальных условий измерения теплофизических свойств веществ методом плоского «мгновенного» источника тепла // Измерительная техника. 2012. № 10. С. 47 – 49; **Gurov A. V. et al.** The choice of the optimum conditions for measuring the thermal properties of materials by the plane «instantaneous» heat source method // Measurement Techniques. 2012. V. 55. N 10. P. 1187 – 1192.

2. **Пономарев С. В. и др.** Теоретические и практические основы теплофизических измерений /Под ред. С. В. Пономарева. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.

Дата принятия 19.03.2013 г.