

УДК 542.08

UDC 542.08

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТЕПЛОЕМКОСТИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ  
МАТЕРИАЛОВ**

**AUTOMATION DETERMINATION OF HEAT  
CAPACITY AND THERMAL CONDUCTIVITY  
OF MATERIALS**

Шабалина Светлана Григорьевна  
к.т.н., доцент,  
[sabalina@mail.ru](mailto:sabalina@mail.ru)

Shabalina Svetlana Grigoryevna  
Cand.Tech.Sci, associate professor  
[sabalina@mail.ru](mailto:sabalina@mail.ru)

Боровская Людмила Васильевна  
к.х.н., доцент,  
[borovskya@yandex.ru](mailto:borovskya@yandex.ru)

Borovskaya Lyudmila Vasilyevna,  
Dr.Sci.Chem., associate professor  
[borovskya@yandex.ru](mailto:borovskya@yandex.ru)

Двадненко Марина Владимировна  
к.х.н., доцент,  
[meriru@rambler.ru](mailto:meriru@rambler.ru)  
*Кубанский Государственный Технологический  
университет, Краснодар, Россия*

Dvadnenko Marina Vladimirovna,  
Dr.Sci.Chem., associate professor  
[meriru@rambler.ru](mailto:meriru@rambler.ru)  
*Kuban State University of  
Technology, Krasnodar, Russia*

Данилин Дмитрий Вадимович  
к.т.н., доцент  
[danivdv@rambler.ru](mailto:danivdv@rambler.ru)

Danilin Dmitry Vadimovich  
Cand.Tech.Sci, associate professor  
[danivdv@rambler.ru](mailto:danivdv@rambler.ru)

Самаркин Виктор Георгиевич  
ст. преподаватель,  
[wisam62@mail.ru](mailto:wisam62@mail.ru)  
*Краснодарское высшее военное авиационное  
училище летчиков (военный институт),  
Краснодар, Россия*

Samarkin Viktor Georgievich  
senior lecturer,  
[wisam62@mail.ru](mailto:wisam62@mail.ru)  
*Krasnodar higher military aviation school of pilots  
(military institute), Krasnodar, Russia*

В статье описан способ определения теплоемкости по данным дифференциальной сканирующей калориметрии и теплопроводности материалов с применением приборов ДСМ-2М и ИТ-λ-400 с использованием оригинальных компьютерных программ

The article describes a method for determining the heat capacity from data of differential scanning calorimetry and thermal conductivity of materials, using the DSM-2M and IT-λ-400 instruments with original computer programs

Ключевые слова: ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ, КРИСТАЛЛОГИДРАТ, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ТЕПЛОЕМКОСТЬ, МИКРОКАЛОРИМЕТР, НАГРЕВ

Keywords: THERMAL-CONTAINING MATERIAL, CRYSTALHYDRATE, AUTOMATION, HEAT, MICROCALORIMETER, HEATING

**Doi: 10.21515/1990-4665-128-005**

В различных видах термостатирующих и теплозащитных устройств применяются материалы активной тепловой защиты. Для теплофизических расчетов необходимо знание зависимости свойств таких материалов от условий эксплуатации. Материал активной тепловой защиты [1,2], сам являясь объектом исследования, вносит в расчеты упрощения и допуски. Так, в литературе встречаются только качественные оценки зависимости

теплофизических свойств теплоаккумулирующего материала (далее по тексту – ТАМ) от температуры, либо постоянные их значения. Например коэффициент теплопроводности защитной смеси при расчете удельной теплоотводящей способности принят равным 1,9 Вт/м\*К (диапазон изменения 0,28÷16,1 Вт/м\*К) [3].

Поэтому возникла необходимость экспериментального определения теплофизических характеристик существующих и разрабатываемых ТАМ. В качестве испытуемых образцов были взяты две экспериментальные смеси на основе кристаллогидратов с высокими теплоотводящими (теплопоглощающими) способностями.

Удельная теплоемкость исследуемых образцов определялась методом дифференциальной сканирующей калориметрии, коэффициент теплопроводности – методом динамической калориметрии [4,5].

Целью настоящей работы была автоматизация определения теплоемкости по данным дифференциальной сканирующей калориметрии (прибор ДСМ-2М) [6] и теплопроводности материалов с применением прибора ИТ-λ-400 с применением ЭВМ.

В основу принципа работы микрокалориметра ДСМ-2М положен компенсационный метод. В сканирующем микрокалориметре эталон и образец подвергаются равномерному нагреву в ячейках специального калориметрического блока. Метод определения теплоемкости исследуемого вещества при заданной температуре заключается в сканировании эталонной меры теплоемкости в нужном температурном интервале, сканировании с пустыми контейнерами, сканировании испытуемого образца. Отклонение базовой линии при сканировании с пустыми контейнерами прибавляется или вычитается от отклонения базовой линии при сканировании с эталонной мерой и образцом.

Теплоемкость измеряется при ступенчатом нагреве, который дает более достоверные результаты. Метод заключается в определении

интегрального теплового разбаланса измерительных ячеек при изменении температуры перехода от изотермической выдержки при одной температуре к изотермической выдержке при другой температуре. Изотермическая выдержка должна составлять 400 секунд для металлов и жидкостей и более 1000 секунд при работе с пористыми материалами. Эта выдержка необходима для достижения теплового равновесия в измерительной ячейке.

При выполнении опыта изотермические выдержки выполнялись на температурах 35, 85 и 155 °С. Определение амплитуды отклонения базовой линии осуществлялось на бумаге с интервалом 5 °С. Полученные значения сформированы в базу данных [7]. Значение удельной теплоемкости в зависимости от температуры вычислялось специально созданной в среде Visual Basic (версия 6.0.8495, № лиц. 828911111111185137) программой. Результаты представлены в виде табличной и графической зависимости на Рисунках 1, 2. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2008614719 зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 01.10.2008 г. Форма представления результата удобна для анализа и дальнейшего использования в программе оценки теплового состояния защищаемого объекта.

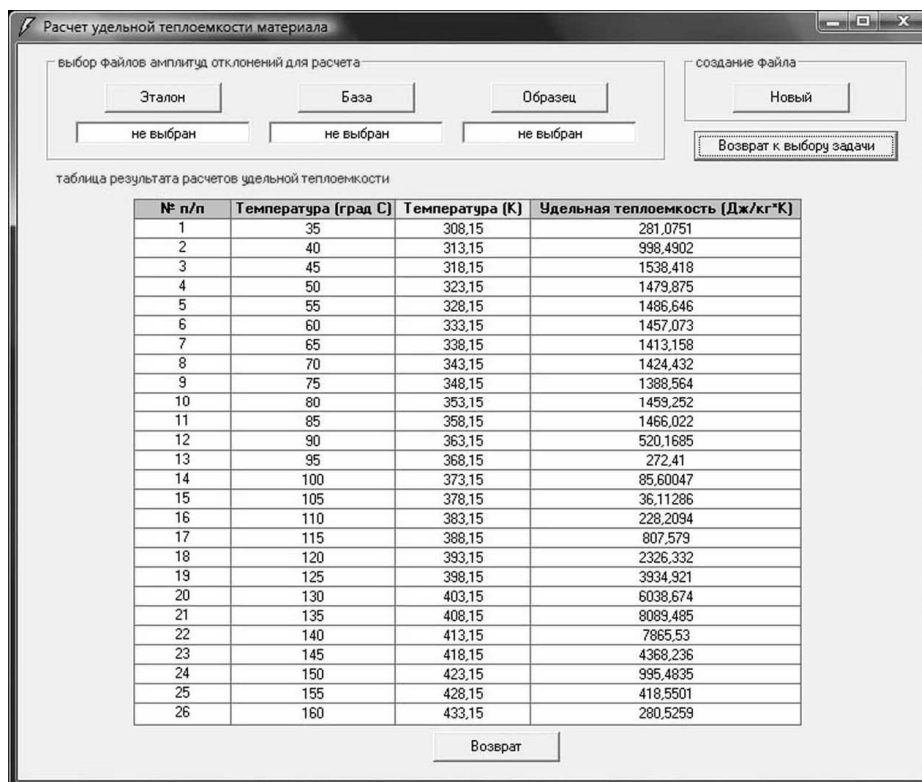


Рисунок 1. Табличное представление расчета удельной теплоемкости.

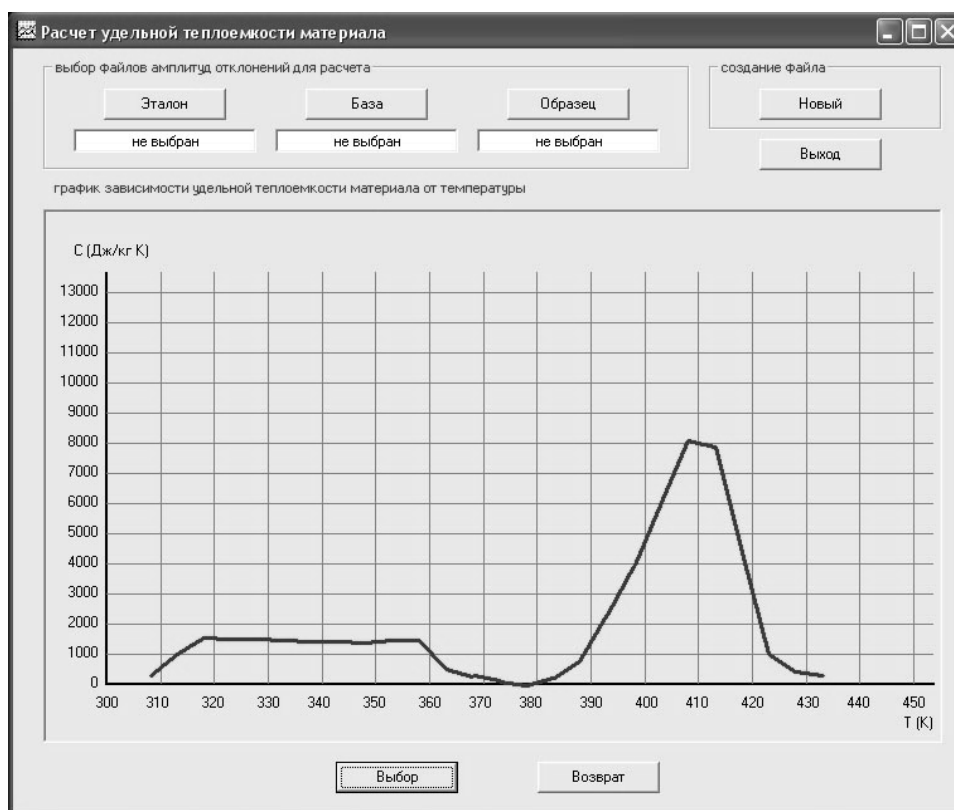


Рисунок 2. Графическое представление расчета удельной теплоемкости.

Несмотря на широкое развитие нестационарных методов исследования теплопроводности, основная масса экспериментального материала по теплопроводности различных веществ в самом широком диапазоне температур получена именно стационарными методами. Данные эти пока являются и наиболее достоверными. Однако создание одномерных тепловых потоков затруднено, ибо максимальные искажения температурных полей вследствие краевых эффектов наблюдаются именно в стационарном режиме [8].

Большое распространение в измерении теплопроводности получил метод плоского слоя, в котором наибольшее внимание уделяется устранению потерь тепла от основного рабочего нагревателя. Для этого необходимо улучшение теплового контакта образца с нагревателем и холодильником, необходимо также принять меры по устранению теплоотдачи основной печью и образцом в окружающую среду. В настоящее время для повышения точности измерения теплопроводности используют дифференциальные термопары для измерения разностей температур и автоматического регулирования тепловых процессов. Принцип автоматического регулирования для компенсации тепловых потерь, используемый в методе плоского слоя, заключается в следующем: сигнал от датчика теплового потока должен через систему автоматического регулирования влиять на мощность охранной печки так, чтобы с максимально возможной точностью компенсировать поток тепла от градиентной печи.

Измерения выполняли на приборе ИТ-λ-400. Измеритель предназначен для исследования температурной зависимости теплопроводности твердых, механически обрабатываемых материалов в режиме монотонного нагрева. Измеритель рассчитан на проведение

теплофизических исследований в лабораторных и заводских условиях. Для измерения теплопроводности в измерителе использован метод динамического калориметра. Измеритель предназначен для массовых исследований теплофизических свойств, поэтому в его основу положен режим монотонного нагрева, позволяющий из одного эксперимента получить сразу температурную зависимость изучаемого параметра и обеспечивающий высокую производительность.

Предел допускаемой погрешности прибора составляет 10 %, рабочий интервал температур от минус 150 до 400 °С. В основу измерения положен сравнительный метод динамической калориметрии с тепломером и адиабатической оболочкой. Теоретические основы метода изложены в [9]. Проводили не менее 5 параллельных измерений для каждой температуры для каждого образца и оценивали погрешность измерений. Теплопроводность вычисляли по формуле [9]:

$$\lambda = h/P_o$$

где  $\lambda$  – теплопроводность образца, Вт/(м\*К),  $h$  – высота образца, м,  $P_o$  – тепловое сопротивление образца, м<sup>2</sup> К/Вт.

Тепловое сопротивление образца рассчитывают по формуле:

$$P_o = \frac{n_o S (1 + \sigma_c)}{n_T K_T} - P_K$$

где  $n_o$  – перепад температур на образце,  $n_T$  – перепад температур на пластине тепломера,  $\sigma_c$  – поправка, учитывающая теплоемкость образца,  $S$  – площадь поверхности образца,  $K_T$  и  $P_K$  – постоянные прибора, которые не зависят от свойств испытуемого образца.

Градуировку измерителя проводят при определении  $K_T$  по образцовой мере теплопроводности из кварцевого стекла, при определении  $P_K$  – по серии экспериментов с образцом из меди. Достоинством прибора

является возможность получить из одного эксперимента сразу температурную зависимость свойств от температуры. Исследуемые образцы представляли собой цилиндры диаметром 15 мм. Высота определялась ожидаемой величиной теплопроводности и изменялась от 0,5 до 5 мм. Плоские поверхности образца притирались со шлифовальным образцом и проверялись на параллельность.

Определение «постоянных» измерителя, которые не зависят от свойств испытуемого образца, проводится в градуировочных экспериментах с образцовой мерой из кварцевого стекла и образцом из меди, входящим в комплект поставки. Для определения теплопроводности испытуемого образца в эксперименте необходимо на различных уровнях температуры измерять перепады температуры на тепломере и образце.

Полученные значения сформированы в базу данных. Значение коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры вычислялось специально созданной в среде Visual Basic программой. Результаты также могут быть представлены в виде табличной или графической зависимости на Рисунках 3, 4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008615575 зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 21.11.2008 г. Форма представления результата удобна для анализа и дальнейшего использования в программе оценки теплового состояния защищаемого электронного модуля.

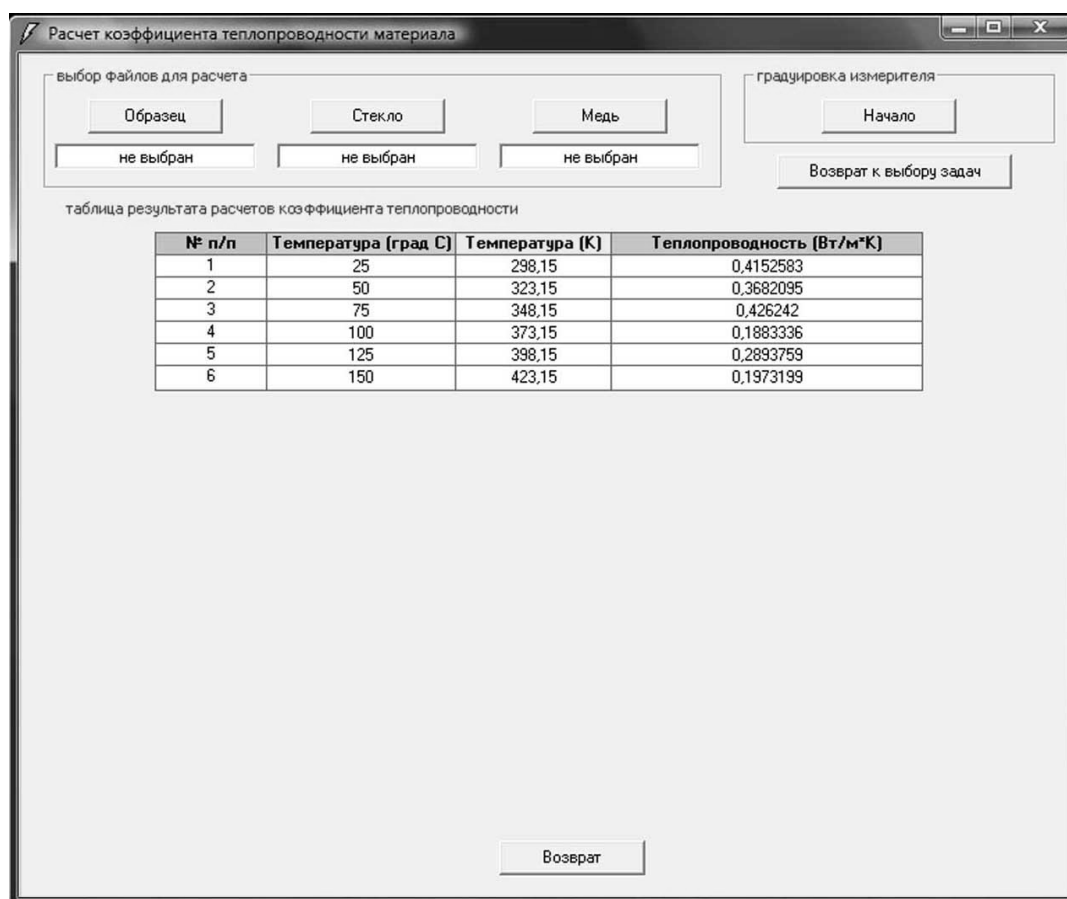


Рисунок 3. Табличное представление расчета коэффициента теплопроводности.

Программы, использованные для расчета теплофизических характеристик, являются универсальными, гибкими, могут применяться в дальнейшем, при активной работе по созданию новых образцов ТАМ. Они могут выступать в качестве встраиваемых модулей для формирования баз данных при расчете теплового состояния электронного модуля.





Рисунок 4. Графическое представление расчета коэффициента теплопроводности.

Параллельное проведение работ по исследованию новых, опытных образцов защитных смесей, применение в расчетах полученных лабораторных данных приведет к развитию расчётно-экспериментальной модели термического воздействия на электронный модуль.

#### Литература

1. Данилин В.Н., Шабалина С.Г. Теплоаккумулирующий материал для пищевой промышленности // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1996. – №1-2. – С.47-48.
2. Формоустойчивый фазопереходный теплоаккумулирующий материал (варианты) Данилин В.Н., Шабалина С.Г., Шпербер Ф.Р. патент на изобретение RUS 2217462 27.08.2002.
3. Проблемы и перспективы создания аварийных регистраторов // Сборник докладов на II научно-практической конференции. Курск. 2006. 205с.
4. Марцинковский А.В., Данилин В.Н., Доценко С.П., Шурай П.Е., Шабалина С.Г., Долесов А.Г., Боровская Л.В., Гнеушев М.Ю, Дегтярев А.И. Физико-химические и

технические проблемы аккумуляции тепла // Физико-химический анализ свойств многокомпонентных систем. – 2003. – №1. – С.21.

5. Зависимость теплоемкости от температуры в системах на основе полиэтиленгликоля и жирных кислот. Шабалина С.Г., Шпербер Ф.Р., Данилин В.Н., Боровская Л.В. депонированная рукопись № 340-V2002 20.02.2002.

6. Боровская Л.В. Дифференциальная сканирующая калориметрия легкоплавких металлических систем: Автореф. дис.... канд. хим. наук.- Краснодар, 1998. 22 с.

7. Бугаец Н.А., Тамова М.Ю., Боровская Л.В., Миронова О.П. Исследование термодинамических свойств белково-полисахаридной системы методом дифференциальной сканирующей калориметрии // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2003. №5-6. С. 112-113.

8. Конструкционные материалы / Под общ. Ред. Б. Н. Арзамасова // Машиностроение.– Справочник. – Москва. 1990. – 688с.

9. Денисова Э. И., Шак А.В. Измерение теплопроводности на измерителе ИТ-λ-400 // Екатеринбург. 2005. – 34с.

### References

1. Danilin V.N., Shabalina S.G. Teploakkumulirujushhij material dlja pishhevoj promyshlennosti // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija. – 1996. – №1-2. – С.47-48.

2. Formoustojchivyy fazoperehodnyj teploakkumulirujushhij material (varianty) Danilin V.N., Shabalina S.G., Shperber F.R. patent na izobretenie RUS 2217462 27.08.2002.

3. Problemy i perspektivy sozdaniya avarijnyh registratorov // Sbornik dokladov na II nauchno-prakticheskoy konferencii. Kursk. 2006. 205s.

4. Marcinkovskij A.V., Danilin V.N., Docenko S.P., Shuraj P.E., Shabalina S.G., Dolesov A.G., Borovskaja L.V., Gneushev M.Ju., Degtjarev A.I. Fiziko-himicheskie i tehicheskie problemy akumulirovaniya tepla // Fiziko-himicheskij analiz svojstv mnogokomponentnyh sistem. – 2003. – №1. – С.21.

5. Zavisimost' teploemkosti ot temperatury v sistemah na osnove polijetilenglikolja i zhirnyh kislot. Shabalina S.G., Shperber F.R., Danilin V.N., Borovskaja L.V. deponirovannaja rukopis' № 340-V2002 20.02.2002.

6. Borovskaja L.B. Differencial'naja skanirujushhaja kalorimetrija legkoplavkih metallicheskih sistem: Avtoref. dis.... kand. him. nauk.- Krasnodar, 1998. 22 s.

7. Bugaec N.A., Tamova M.Ju., Borovskaja L.V., Mironova O.P. Issledovanie termodinamicheskikh svojstv belkovo-polisaharidnoj sistemy metodom differencial'noj skanirujushhej kalorimetrii // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija. 2003. №5-6. S. 112-113.

8. Konstrukcionnye materialy / Pod obshh. Red. B. N. Arzamasova // Mashinostroenie.– Spravochnik. – Moskva. 1990. – 688s.

9. Denisova Je. I., Shak A.V. Izmerenie teploprovodnosti na izmeritele IT-λ-400 // Ekaterinburg. 2005. – 34s.