ОДИННАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ ШКОЛА

ИНФОРМАЦИОННО-СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ В ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Т. II

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

МЕЖДУНАРОДНАЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ ШКОЛА

ТАМБОВ 2018

ОДИННАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ ШКОЛА

ИНФОРМАЦИОННО-СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ В ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В 2-х томах

Том II

Тамбов
♦ Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ» ♦
2018

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Администрация Тамбовской области
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова в г. Душанбе
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана
Объединенный институт высоких температур РАН
Национальный комитет потеплофизическим свойствам веществ РАН
Российский фонд фундаментальных исследований
Тамбовский государственный технический университет

ИНФОРМАЦИОННО-СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ В ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

ОДИННАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ ШКОЛА

Тамбов, 6 – 9 ноября 2018 г.

Сборник научных статей

В 2-х томах

Том 2

Тамбов
♦ Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ» ♦
2018

УДК 536.2.08.001.76
ББК з311
И74

Школа организована и проведена
при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
(*проект РФФИ* № 18-08-20121\2018)

И74 **Информационно-сенсорные системы** в теплофизических исследованиях : сборник научных статей. В 2-х т. Тамбов, 6 – 9 ноября 2018 г. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – Т. II. – 292 с. – 400 экз.
ISBN 978-5-8265-1958-5.

В сборник включены статьи по тематике «Информационно-сенсорные системы в теплофизических исследованиях».

Предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

УДК 536.2.08.001.76
ББК з311

Материалы статей предоставлены в электронном виде и сохраняют авторскую редакцию.

ISBN 978-5-8265-1956-1 (общ.)
ISBN 978-5-8265-1958-5 (т. II)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2018

СОДЕРЖАНИЕ

С е к ц и я. МЕТРОЛОГИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ 9

Бабашкина А. П., *Власова Е. В.*, *Глинкин Е. И.*
Неинвазивный контроль концентрации глюкозы крови по глюкограмме 9

Беляев В. П., *Мищенко С. В.*, *Беляев П. С.*
Методология проектирования средств неразрушающего контроля коэффициента диффузии в изделиях из пористых материалов 14

Беляев В. П., *Мищенко С. В.*, *Беляев П. С.*
Повышение точности неразрушающего контроля коэффициента диффузии в массивных изделиях из пористых материалов 21

Власова Е. В., *Глинкин Е. И.*
Автокалибровка действительного параметра концентрации по адаптивной нормируемой точности 27

Майникова Н. Ф., *Рогов И. В.*
Влияние конечности размеров нагревателя на точность определения теплофизических свойств материалов 32

Мордасов М. М., *Мордасов М. Д.*
Пневматический генератор прямоугольных импульсов 36

Одинокова А. А., *Глинкин Е. И.*
Метрологическая эффективность контроля гемостаза 40

Одинокова А. А., *Глинкин Е. И.*
Определение времени свертывания крови по информативным параметрам 45

Сергеева Ю. Б., *Абуладзе О. К.*, *Глинкин Е. И.*
Неинвазивный мониторинг концентрации глюкозы 48

Чернышова Т. И., *Курносов Р. Ю.*
Информационно-аналитическая система оценки метрологической надежности электронных измерительных средств на этапе проектирования 53

С е к ц и я. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ, УПРАВЛЕНИЯ И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ, ПРОЦЕССОВ И УСЛУГ 57

Rafail Is'emin, *Alexander Mikhalev*, *Dmitry Klimov*, *Panagiotis Grammelis*, *Nikolaos Margaritis*, *Dimitrios-Sotirios Kourkoumpas*
Increase of Thermal Properties of Pellets from a Mixture of Straw and Coal Sludge by Torrefaction 57

Пономарев С. В., *Буланова В. О.*, *Буланов Е. В.*, *Дивин А. Г.*
Установка для осуществления метода линейного импульсного источника теплоты при измерении теплофизических свойств материалов ……... 68

Пономарев С. В., *Мищенко С. В.*
Осуществление процесса «8.3 Проектирование и разработка продукции и услуг» по требованиям Международного стандарта ISO 9001:2015 ……... 72

Пономарев С. В., *Мищенко С. В.*, *Дивин А. Г.*, *Аль-Бусаиди С. С. С.*
Применение математических методов метрологии и оптимизации как инструментов управления качеством при совершенствовании теплофизических методов и приборов …… 77

Роганова Э. В., *Гущин С. М.*, *Глебова Т. А.*, *Батова В. Н.*, *Асмолова Е. А.*
Проведение мероприятий перед выполнением инновационного проекта ... 83

Соколов М. В.
Устройство для прогнозирования показателей качества профильного экструдата из резиновых смесей …….. 87

С е к ц и я. АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ …… 91

Артыщенко С. В., *Пастернак Ю. Г.*
Способ просветления атмосферного оптического канала с помощью лазерного излучения со спиральным фазовым фронтом ……... 91

Болдырев Д. В., *Глинкин Е. И.*
Автоматизация аналитического контроля динамики скорости оседания эритроцитов …… 94

Громов Ю. Ю., *Дидрих В. Е.*, *Иванова О. Г.*
Выявление скрытых объектов на инфракрасных изображениях с учетом особенностей теплообменных процессов ……... 97

Громов Ю. Ю., *Дидрих В. Е.*, *Ивановский М. А.*
Использование неразрушающего теплового контроля для определения свойств объекта …… 101

Дивин А. Г., *Мищенко С. В.*, *Жиркова А. А.*
Неразрушающий бесконтактный тепловой метод контроля качества объектов растительного происхождения …… 105

Егоров А. С., *Дивин А. Г.*
Автоматизированная система измерения теплофизических свойств овощей …… 111

Елизаров И. А., *Третьяков А. А.*, *Назаров В. Н.*
Автоматизированный лабораторный комплекс для исследования технологий производства химических добавок в бетоны, их теплофизических и химических свойств ……... 115

Железнов И. А., *Андреев С. Н.*
Разработка методики использования фрактальных свойств объектов при дешифрировании аэрофотоснимков …… 119

Ищук И. Н., *Дмитриев Д. Д.*, *Долгов А. А.*, *Бебенин А. А.*
Исследования по применению программного обеспечения HYDRUS-1D в задаче тепловой томографии …… 124

Крюкова Н. А., *Павлович А. В.*
Комплексные проблемы техносферной безопасности и рационализация природопользования …… 131

Куриченко А. А., *Ивлиев А. Д.*
Устройство для регулирования напряжения переменного тока силовой сети …… 137

Парфирьев А. В., *Степанов Е. А.*, *Вышлов О. С.*
Алгоритм системы автоматического слежения за наземным тепловым объектом …… 140

Парфирьев А. В., *Степанов Е. А.*, *Вышлов О. С.*
Способ контроля навигационных параметров при заходе на посадку беспилотных летательных аппаратов …….. 150

Рамон Н. А., *Пендер А. В.*, *Шебуняева С. С.*
Применение тепловых инфракрасных гиперспектральных изображений для обнаружения наземных метановых плюмов …… 159

Ряжских В. И., *Хвостов А. А.*, *Журавлев А. А.*
Расчет удельной теплоемкости азота, кислорода и их смесей в двухфазной области жидкость–пар …….. 163

Сафаров М. М., *Гуломов М. М.*, *Зарипова М. А.*, *Ойматова Х. Х.*, *Абдуллоев М. А.*, *Саидзода К. Б.*, *Давлаатов Р. Дж.*, *Розыков К. Н.*, *Сафаров Ш. Р.*, *Яхьяев Ш. О.*
Автоматизированный комплекс для определения термодинамических характеристик нанопорошков и пищевых продуктов при различных температурах …….. 169

Свищо В. С., *Ильиных В. О.*
Современные способы создания трехмерной модели местности и тепловых объектов с использованием БПЛА …… 173

Семка В. В., *Жуган В. В.*, *Семка Б. В.*
Технические решения по оптимизации компоновки оптической нагрузки видимого диапазона на БПЛА для увеличения поля обзора аэроландшафта и поиска тепловых объектов …… 178

Скирда И. А., *Швецов Д. А.*
Особенности магнитометрического поиска намагниченных тепловых объектов при проведении аэромагниторазведки …… 184

Тищенко А. И., *Ищук И. Н.*, *Громов Ю. Ю.*
Определение высоты полета беспилотного летательного аппарата для выполнения видеонаблюдения с требуемой степенью детализации информации при поиске тепловых объектов …….. 190

Третьяков А. А., *Елизаров И. А.*, *Назаров В. Н.*
Автоматизированная лабораторная установка для разработки новых химических продуктов …….. 194

Третьяков А. А., *Елизаров И. А.*, *Назаров В. Н.*
Автоматизированная система управления процессом получения отбеливателя белофора ОЦД …… 198

Филимонова О. Н., *Викулин А. С.*, *Енютина М. В.*, *Иванов А. В.*
Тепловые режимы регенерации цеолитовых адсорбентов блока очистки мобильных воздухоразделительных установок ……. 202

С е к ц и я. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ В ТВЕРДОМ, ЖИДКОМ И ГАЗООБРАЗНОМ СОСТОЯНИЯХ …….. 205

Абдужалилзода Ф., *Зарипова М. А.*, *Махмадиев Б. М.*, *Тиллоева Т. Р.*, *Саидзода К. Б.*
Теплоемкость, теплопроводность теплоносителя системы метилового спирта и воды ……. 205

Ахтямов Э. Р., *Горбатов В. И.*, *Полев В. Ф.*, *Коршунов И. Г.*, *Куриченко А. А.*
Теплопроводность сплавов системы NI-V при высоких температурах …….. 209

Баронин Г. С., *Бузник В. М.*, *Столин А. М.*, *Мищенко С. В.*, *Воробьев Ю. В.*, *Ушаков Н. В.*, *Хрущев С. П.*, *Воронин Н. В.*
Теплофизические, триботехнические и физико-механические свойства полимерных нанокомпозитов и изделий из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), полученных объемной штамповкой в твердой фазе …… 213

Ветров В. В., *Воробьев А. А.*
Исследование конвективного теплопереноса в замкнутых вращающихся конических и лабиринтных полостях …….. 220

Давлатов Р. Дж., *Неъматов А.*, *Гуломов М. М.*, *Сафаров М. М.*
Влияние полистирола на изменение теплоемкости жидкого бензола при атмосферном давлении при различных температурах ……... 225

Давлатшоев С. К., *Сафаров М. М.*
Гидрогеохимический мониторинг отжатия подземных минерализованных вод пресными фильтрационными потоками …….. 230

Давлатшоев С. К., *Сафаров М. М.*
Кондуктометрический метод исследования отжатия подземных минерализованных вод …… 234

Дмитриев О. С., *Барсуков А. А.*
Исследование кинетики отверждения полимерных композитов калориметрическим методом ……... 238

Зарипова М. А., *Гортышов Ю. Ф.*, *Ойматова Х. Х.*, *Сафаров Ш. Р.*, *Ризоев С. Г.*, *Хусайнов З. К.*, *Махмадалии К.*
Получение углеродно-целлюлозных нанопорошков и исследование их термодинамических характеристик …… 242

Мирзомамадов А. Г., *Абдуллоев М. А.*, *Холиков М. М.*, *Неъматов А.*, *Розыков К. Н.*, *Хакимов Д. Ш.*, *Гуломов М. М.*, *Назирмадов Д. А.*, *Зарипов Дж. А.*, *Сафаров М. М.*
Коэффициент адсорбции и массоотдачи механической смеси кремниевых кислот и мсунт …….. 245

Назирмадов Д. А., *Сафаров М. М.*, *Абдуназаров С. С.*, *Мирзомамадов А. Г.*, *Неъматов А.*, *Абдуллоев М. А.*
Влияние NaCl на изменение вязкости и плотности воды …….. 250

Сафаров М. М., *Мирзоев С. Х.*, *Давлатов Н. Б.*, *Абдуллоев М. А.*, *Гуломов М. М.*, *Зарипова М. А.*
Влияние фуллеренов и углеродных нанотрубок на изменение температуры кипения углеводородов …… 254

Сафаров М. М., *Тымеркаев Б. А.*, *Хакимов Д. Ш.*, *Раджабов А. Р.*, *Гуломов М. М.*, *Рафиев С. С.*, *Раджабова Д. Ш.*
Влияние одностенных углеродных нанотрубок (OCSIAL) на изменение теплопроводности бинарных углеводородных растворов …… 257

Сафаров М. М., *Хубатхузин А. А.*, *Файзов Б. Г.*, *Тиллоева Т. Р.*, *Саидзода К. Б.*
Теплоемкость гранулированных композиционных материалов на основе полимеров …….. 260

Собиров Д. Ф.
Влияние температуры и концентрации носителей на теплоемкость сегнетоэлектрика-полупроводника теллурида германия в сегнетофазном состоянии ……... 264

Собиров Д. Ф.
Поведение и термодинамические характеристики полупроводника GETE в сегнето- и парафазном состоянии …… 270

Собиров Д. Ф., *Сафаров М. М.*
Потенциал Леннарда–Джонса и скорость упругой волны для полупроводников соединения $A^{IV}B^{VI}$ …….. 275

Тургунбаев М. Т., *Сафаров М. М.*, *Зарипова М. А.*, *Ойматова Х. Х.*, *Хусайнов З. К.*, *Сафаров Ш. Р.*, *Мухамадали К.*
Экспериментальные данные по температуропроводности гидразинзамещенных водных растворов при высоких параметрах состояния …… 281

ИЗ ИСТОРИИ ШКОЛЫ … …… 287

Пономарев С. В., *Мищенко С. В.*
ИСТОРИЯ ВСЕСОЮЗНЫХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ШКОЛ …….. 287

Секция

МЕТРОЛОГИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 681.335

НЕИНВАЗИВНЫЙ КОНТРОЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ГЛЮКОЗЫ КРОВИ ПО ГЛЮКОГРАММЕ

А. П. Бабашкина, Е. В. Власова, Е. И. Глинкин
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
cool.ladyanna2014@yandex.ru; *birukova-ev@rambler.ru*; *bmt@nnn.tstu.ru*

Аннотация. Предложен неинвазивный контроль концентрации глюкозы крови по калибровочной глюкограмме, тождественной экспериментальному эквиваленту за счет оптимизации ее предельных параметров: глюкозы и проводимости структуры, – нормированными значениями диффузионной проводимости вольтсименсных характеристик. Контроль действительного значения концентрации глюкозы крови по калибровочной глюкосименсграмме, тождественной экспериментальному эквиваленту за счет оптимизации ее предельных параметров: глюкозы и проводимости структуры, – нормированными значениями границ адаптивного диапазона известных пациентов, по сравнению с прототипом повышает точность на несколько порядков, что позволит существенно повысить достоверность и объективность обследования за счет исключения методической погрешности из-за использования двух физических факторов.

Ключевые слова: неинвазивный контроль, глюкосименсграмма, действительные параметры, предельные концентрация и проводимость, диффузионные напряжение и ток.

Предлагаемое изобретение относится к области медицины, в частности к эндокринологии, и может быть использовано для предварительной диагностики сахарного диабета II типа при профилактических обследованиях населения.

Известен способ, основанный на связи между содержанием глюкозы в крови и электрическими характеристиками кожи и ткани, который принят за прототип. Способ определения концентрации глюкозы в крови человека [1] характеризуется тем, что измеряют посредством четырехэлектродных датчиков, закрепленных на поверхности тела человека, электрические характеристики протекающего по ткани тока, затем

обрабатывают измерения электродных датчиков по предварительно откалиброванной математической модели путем сравнения результатов предлагаемого способа определения глюкозы в крови человека и любого другого известного метода определения глюкозы в крови человека, после чего определяют концентрацию глюкозы в крови человека. Недостатками прототипа являются объемные вычисления, обусловленные отсутствием аналитической модели, адекватной физике эксперимента, и, как следствие, невысокая метрологическая эффективность из-за калибровки по статистической градуировочной характеристике.

Технической задачей способа [2] является повышение метрологической эффективности, а именно, точности за счет исключения методической погрешности из-за использования двух физических факторов.

Поставленная техническая задача достигается тем, что в способе неинвазивного определения концентрации глюкозы в крови человека по глюкограмме [2], в отличие от прототипа, определяют действительное значение концентрации глюкозы крови по калибровочной глюкосименсграмме (ГСГ), тождественной экспериментальному эквиваленту за счет оптимизации ее предельных параметров: глюкозы P_0 и проводимости Y_0 структуры, – нормированными значениями границ адаптивного диапазона известных пациентов: глюкозы P_i, для i = 1, 2 и диффузионными проводимостями с кратным отношением Y_1 и $Y_2 = nY_1$, для $n > 1{,}1 - 3$, вольтамперных характеристик (ВАХ) $i_i(u)$ с оптимальными параметрами: диффузионным напряжением U_i и диффузионным током I_i, которые калибруют по измеренным токам i_{ij}, для j = 1, 2, заданным двумя напряжениями u_1 и бинарным $u_2 = 2u_1$, по которым находят диффузионные проводимости Y_i пациентов как отношение диффузионных параметров $Y_i = I_i / U_i$ их вольтамперных характеристик $i(u)$

$$i = I\left[\exp\left(\frac{u}{U}\right) - 1\right], \tag{1}$$

с тождественными границам диапазона параметрами: диффузионными током I_i, напряжением U_i и проводимостью $Y_i = I_i / U_i$

$$I = \frac{i_1}{i_2/i_1 - 2}, \quad U = \frac{u_1}{\ln(i_2/i_1 - 2)}, \tag{2}$$

глюкосименсграмма

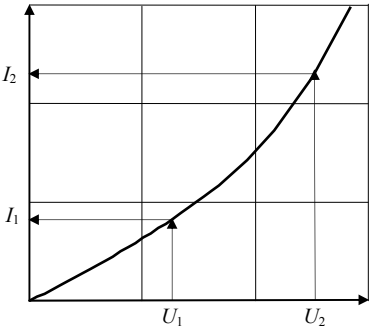
$$P = P_0 \exp(Y/Y_0) \tag{3}$$

отражает физику натурного эксперимента с тождественными границам диапазона параметрами: проводимостью Y_0 и глюкозой P_0 структуры

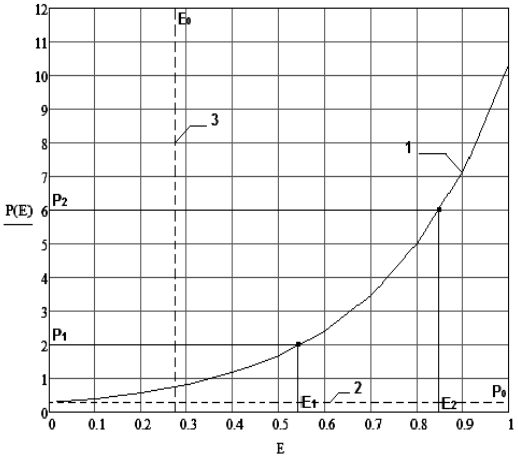
$$Y_0 = \frac{Y_2 - Y_1}{\ln(P_2/P_1)}, \quad P_0 = P_1 \sqrt[n-1]{P_1/P_2}, \tag{4}$$

где $n = Y_2/Y_1$.

Находим по измеренным параметрам значения концентрации глюкозы от проводимости (3) и строим глюкосименсграмму (ГСМ). Она подобна вольт-амперной характеристике (1), но по ординате отображается концентрация P в ммоль/л, а проводимость по оси абсцисс представлена как Y, и измеряется в сименсах (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Калибровка:
а – вольт-амперная характеристика по бинарным напряжениям;
б – глюкограмма по кратным диффузионным проводимостям

ГСМ находят из вольтсименсной характеристики (ВСХ) y, которая является производной тока по напряжению первообразной ВАХ (1):

$$y = \frac{di}{du} = \frac{dI(e^{u/U} - 1)}{du} = \frac{I}{U} e^{u/U} = Ye^{u/U}, \quad (5)$$

где $Y = \frac{I}{U}$.

Диффузионная проводимость Y с концентрацией P глюкозы связаны логарифмической зависимостью, так как

$$y = Ye^{u/U} = Y_0 \ln \frac{P}{P_0} e^{u/U}, \quad (6)$$

откуда следует характеристика глюкосименсграммы (ГСГ (3)), которая отражает физику натурного эксперимента с тождественными границам диапазона параметрами: проводимостью Y_0 и глюкозой P_0 структуры.

Из графиков видно, что вольт-амперная характеристика (рис. 1, *а*) оптимизирует информативные параметры исследуемой кривой относительно глюкосименсграммы (рис. 1, *б*) и мерам отсчета, которая определяет действительное содержание глюкозы в крови в адаптивном диапазоне калибруемых мер.

Преимуществом способа является повышение точности способа за счет исключения методической погрешности посредством калибровки в адаптивном диапазоне, регламентируемом калибруемыми значениями на его границах, а так же путем введения двух статических характеристик ВАХ и ГСГ, которые позволяют по нормированным параметрам границ адаптивного диапазона диффузионной проводимости и предельной глюкозе определять действительное содержание глюкозы в крови.

Докажем метрологическую эффективность предлагаемого способа относительно прототипа по достоверности измерений в адаптивном диапазоне для исследуемой зависимости P_i. Например, найдем для известных значений $P_1 = 2$, $P_2 = 20$ и регистрируемым отношениям $y_1 = 1$, $y_2 = 2$ по алгоритмам (4) информативные параметры $Y_0 = 0{,}217$, $P_0 = 0{,}2$. По найденным параметрам Y_0 и P_0 находим из (3) действительную глюкосименсграмму $P_д$ (рис. 1, *б*), тождественную эквиваленту $P_э$:

$$P_д = P_э = P_0 \exp(Y / Y_0). \quad (7)$$

Относительная погрешность предлагаемого способа [2, 3] не превышает 1%, за счет использования калибровочной характеристики в адаптивном диапазоне с нормированными значениями на границах, что на порядок ниже прототипа (±10…15%) [1].

Таким образом, определение действительного значения концентрации глюкозы крови по калибровочной глюкосименсграмме, тождественной экспериментальному эквиваленту за счет оптимизации ее предельных параметров: глюкозы и проводимости структуры, – нормированными значениями границ адаптивного диапазона известных пациентов, по сравнению с прототипом повышает точность на несколько порядков, что позволит существенно повысить достоверность и объективность обследования за счет исключения методической погрешности из-за использования двух физических факторов.

Список литературы

1. Пат. № 2342071 (РФ). Способ определения концентрации глюкозы в крови человека / Новиков И. А.. – МКИ A61B 5/053, 2008, Бюл. № 36.

2. Пат. по заявке № 2016104199 (РФ). Способ неинвазивного определения концентрации глюкозы в крови по глюкограмме / Бабашкина А. П., Власова Е. В., Глинкин Е. И. – A61B 5/053, 2017, Бюл. № 3.

3. Власова, Е. В. Методы оценки концентрации глюкозы крови / Е. В. Власова, Е. И. Глинкин // Вестник ТГУ. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГУ им. Г. Р. Державина», 2016. – Т. 21, вып. 6. – С. 2321 – 2325.

THE NON-INVASIVE CONTROL OF CONCENTRATION BLOOD GLUCOSES ACCORDING TO GLYUKOGRAMMA

A. P. Babashkina, E. V. Vlasova, E. I. Glinkin
Tambov State Technical University, *Tambov*
cool.ladyanna2014@yandex.ru; *birukova-ev@rambler.ru*; *bmt@nnn.tstu.ru*

Abstract. Non-invasive control of concentration of a glucose of a blood on the calibration glyukogramma identical to an experimental equivalent due to optimization of its extreme parameters is offered: glucoses and conductions of structure, – rated values of diffusive conduction the voltsimensnykh of characteristics. Control of the valid value of concentration of a glucose of a blood on the calibration glyukosimensgramma identical to an experimental equivalent due to optimization of its extreme parameters: glucoses and conductions of structure, – rated values of borders of adaptive range of the famous patients, in comparison with a prototype are raised by accuracy on several orders that will allow to increase significantly reliability and objectivity of inspection at the expense of an exception of a methodical error because of use of 2 physical factors.

Keywords: non-invasive control, glyukosimensgramma, valid parameters, extreme concentration and conduction, diffusive strain and current.

УДК 66.063.2.011

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. П. Беляев, С. В. Мищенко, П. С. Беляев
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
bps800@yandex.ru; *msv@tstu.ru*

Аннотация. С позиций единого методологического подхода рассмотрены импульсные методы, позволяющие реализовать неразрушающий контроль коэффициента диффузии полярных растворителей в тонколистовых и массивных изделиях из изотропных и анизотропных пористых материалов. При проведении контроля используются плоские участки поверхности изделий для размещения на них измерительных устройств, с помощью которых осуществляется нанесение импульсного воздействия заданной конфигурации и регистрация отклика на это воздействие. Рассмотрены конструкции измерительных устройств, обеспечивающих реализацию разработанных методов.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, коэффициент диффузии, изделия из пористых материалов.

Для оптимального проектирования технологических процессов производства и эксплуатации изделий из пористых материалов (ПМ) необходимо располагать данными о коэффициенте диффузии распределенных в твердой фазе веществ. Определению коэффициента диффузии посвящено значительное количество научных работ [1, 2]. Применяемые методы характеризуются значительной продолжительностью и предусматривают изготовление специальных образцов для исследований, что делает затруднительным их использование для оперативного контроля готовых изделий из ПМ.

Повышение производительности исследований коэффициента диффузии в пористых средах возможно при реализации неразрушающего контроля на основе использования импульсных воздействий на контролируемые изделия. Работы по созданию таких высокопроизводительных методов неразрушающего контроля коэффициента диффузии в пористых материалах начались сравнительно недавно и были направлены на исследование массопереноса в тонколистовых материалах [3 – 6]. В настоящее время актуальной задачей является развитие данных и разработка новых методов неразрушающего контроля, расширяющих возможности измерительной аппаратуры в плане исследуемых изделий и материалов.

Поставлена задача разработать единый методологический подход в проектировании устройств неразрушающего контроля коэффициента диффузии полярных растворителей в изделиях из пористых материалов с использованием электрохимических преобразователей концентрации диффузантов в твердой фазе и с учетом возможной анизотропии свойств.

Предлагаемый подход основан на использовании для измерения искомой характеристики плоских участков поверхности изделий, с размещением на этих участках переносных измерительных устройств перед проведением активной части экспериментов, нанесении импульсных воздействий заданной конфигурации и измерении откликов на эти воздействия. При этом измеряются отклики не в виде традиционно используемых изменений концентрации диффузантов в твердой фазе анализируемых ПМ, а в виде изменения электродвижущей силы электрохимического преобразователя (ЭХП), однозначно связанной с концентрацией диффузанта. Разработанные методы позволяют исключить трудоемкую и длительную операцию по градуировке применяемого ЭХП по каждой новой системе ПМ–диффузант (десятки часов), что существенно повышает производительность контроля. Режимные переменные реализации процессов измерения коэффициента диффузии и конструктивные параметры измерительных устройств выбираются из условия протекания в измерительных устройствах массопереноса, аналогичного диффузии в неограниченных телах канонической формы.

Обобщенная математическая модель процессов массопереноса в изделиях из ПМ при реализации методов имеет вид

$$\frac{\partial U(r,\tau)}{\partial \tau} = D\frac{1}{r^k}\frac{\partial}{\partial r}\left[r^k\frac{\partial U(r,\tau)}{\partial r}\right] + \frac{Q}{\rho_0}\delta(r,\tau); \qquad (1)$$

$$\tau > 0\,;\ \ 0 \le r < \infty\,;\ \ U(r,0) = U_0;\ \ \frac{\partial U(0,\tau)}{\partial r} = 0;\ \ U(\infty,\tau) = U_0, \qquad (2)$$

где $U(r, \tau)$ – концентрация растворителя в исследуемом изделии на расстоянии r от линейного или точечного источника импульса массы в момент времени τ; D – коэффициент диффузии; $\delta(r,\tau)$ – дельта-функция Дирака; ρ_0 – плотность абсолютно сухого исследуемого материала; Q – мощность «мгновенного» источника растворителя, подействовавшего в начале координат $r = 0$; U_0 – начальная концентрация растворителя в исследуемом материале в момент времени $\tau = 0$; k – константа, равная 0, 1 или 2, соответственно, для пластины, цилиндра или шара.

Исследование тонколистовых и массивных изделий из изотропных ПМ осуществляют в соответствии с методами, использующими реакцию контролируемых объектов на точечное импульсное воздействие дозой растворителя. Для исследования тонколистовых и массивных изделий из анизотропных ПМ предлагаются методы, использующие реакцию контролируемых объектов на линейное импульсное воздействие дозой растворителя. Коэффициент диффузии определяется по обобщенному расчетному соотношению [7 – 10]

$$D = r_0^2 \big/ (2\xi_i \tau_{\max}), \qquad (3)$$

где $\tau_{\max}$ – время, соответствующее максимуму на кривой $U(r_0, \tau)$ изменения концентрации на расстоянии r_0 от источника; ξ_i – константа, равная 1; 2 или 3, соответственно, для пластины, цилиндра или шара.

В качестве основной переменной, определяющей конструктивные параметры разрабатываемых устройств, принята величина расстояния r_0 от электродов ЭХП до точки или линии импульсного воздействия. В результате исследований было принято решение о размещении основных электродов гальванического преобразователя на расстоянии r_0 = 4 мм и дополнительных электродов на расстоянии 3 и 5 мм [8, 10]. Дальнейшее удаление преобразователя от источника вызывает увеличение длительности эксперимента, необходимых размеров плоского участка контролируемых изделий и габаритных размеров измерительных устройств при незначительном повышении точности контроля. В качестве основной режимной переменной предлагаемых методов рассматривается величина дозы растворителя, наносимой на поверхность контролируемых изделий, обеспечивающей повышение точности измерений за счет использования заданного диапазона статической характеристики ЭХП.

При контроле коэффициента диффузии в массивных изделиях из изотропных ПМ к плоской поверхности изделия с равномерным начальным распределением растворителя прижимается устройство с импульсным точечным источником дозы растворителя мощностью Q. Устройство снабжено электродами ЭХП, расположенными на концентрической окружности радиусом r_0 относительно точки импульсного воздействия на изделие. Поверхность устройства, прижимаемая к плоской поверхности изделия, выполнена из не смачиваемого растворителем материала. Конструктивно устройство выполнено таким образом, чтобы после подачи дозы растворителя обеспечивать гидроизоляцию поверхности изделия в зоне действия источника и прилегающей к ней

области контроля распространения растворителя. При проведении активной части эксперимента (после нанесения импульсного воздействия) регистрируется изменение выходной характеристики $E(r_0, \tau)$ ЭХП во времени на заданном расстоянии r_0 от источника. Габариты контролируемого изделия должны превышать размеры полусферы радиуса $10\ r_0$ с центром в точке нанесения импульса, расположенной в массиве изделия, чтобы обеспечить возможность применения математической модели (1), (2) массопереноса в неограниченном теле при $k = 2$. Таким образом, блочные изделия толщиной свыше 40 мм могут быть исследованы предлагаемым методом. В случае меньшей толщины изделий (гипсовые панели, цементно-стружечные плиты), контроль коэффициента диффузии можно проводить на блоках, собранных из нескольких пластин. Коэффициент диффузии может быть определен по расчетному выражению (3) при $\xi_i = 3$.

При контроле коэффициента диффузии в тонколистовых изделиях из изотропных ПМ исследуемый тонколистовой материал накладывается на подложку из несмачиваемого материала. Импульсное воздействие Q и контакт электродов ЭХП на концентрической окружности радиусом r_0 относительно точки импульсного воздействия осуществляется на верхней плоской поверхности контролируемого изделия. Особенностью разработанной методики реализации предложенного метода является то, что в исследуемом теле организуют массоперенос, аналогичный процессу диффузии в неограниченном цилиндре при действии линейного источника. Для этого толщина тонколистового материала не должна превышать $0{,}1\ r_0$, а плоский участок контролируемого изделия, на котором фиксируется измерительное устройство, должен иметь достаточные габариты для возможности адекватного описания процесса массопереноса в активной части эксперимента с помощью краевой задачи (1), (2) при $k = 1$. Таким образом, контроль коэффициента диффузии может быть осуществлен при толщине изделия до 0,5 мм. В этом случае коэффициент диффузии может быть определен по расчетному выражению (3) при $\xi_i = 2$.

При существенной анизотропии свойств распространение растворителя от точечного источника не является симметричным, так как происходит с разной скоростью из-за существенной зависимости свойств материала от направления массопереноса, поэтому используемые математические модели не адекватны процессам массопереноса в измерительном устройстве. Для реализации неразрушающего контроля коэффициента диффузии применительно к изделиям из анизотропных ПМ разработаны методы, основанные на линейном импульс-

ном воздействии. При проведении исследований диффузии в тонколистовых анизотропных материалах исследуемый плоский участок изделия с равномерным начальным содержанием растворителя U_0 размещается на подложке и наносится импульсное воздействие дозой растворителя мощностью Q вдоль прямоугольной полосы длиной L и шириной s. На расстоянии x_c от линейного источника расположены чувствительные элементы ЭХП длиной l для контроля локальной концентрации на линиях, параллельных источнику. Особенностью разработанного метода является то, что в исследуемом теле организуют прямолинейный массоперенос, аналогичный процессу диффузии в неограниченной пластине при действии плоского импульсного источника. Для этого размеры исследуемого плоского участка изделия, длины L и ширины s линии импульсного воздействия, координату контроля концентрации x_c и толщину тонколистового материала h выбирают так, чтобы обеспечивалась возможность адекватного описания прямолинейного массопереноса в перпендикулярном к линии импульсного воздействия направлении с помощью краевой задачи (1), (2) при $k = 0$. В этом случае коэффициент диффузии может быть определен по расчетному выражению (3) при $\xi_i = 1$. Полосу импульсного воздействия ориентируют в заданном направлении материала (например, вдоль или поперек волокон). При этом обеспечивается однонаправленный массоперенос в нужном направлении, не искаженный массопереносом в перпендикулярном к исследуемому направлении. За счет этого повышается точность контроля и возможность определения коэффициента диффузии растворителей в различных направлениях анизотропного пористого материала.

Метод неразрушающего контроля коэффициента диффузии в массивных изделиях из анизотропных ПМ также базируется на линейном импульсном воздействии. Импульсное воздействие Q и контакт электродов ЭХП осуществляются на верхней плоской поверхности контролируемого изделия. Особенностью предложенного метода является то, что в исследуемом теле организуют массоперенос, аналогичный процессу диффузии в неограниченном цилиндре при действии линейного источника. Для этого толщина массивного изделия и плоский участок контролируемого изделия, на котором фиксируется измерительное устройство, должны иметь достаточные габариты для возможности адекватного описания процесса массопереноса в активной части эксперимента с помощью краевой задачи (1), (2) при $k = 1$. В этом случае коэффициент диффузии может быть определен по расчетному выражению (3) при $\xi_i = 2$. Для определения коэффициента

диффузии растворителей в различных направлениях анизотропного ПМ в составе массивного изделия, например, материала с ориентированным расположением волокон, линию импульсного воздействия дозой растворителя ориентируют вдоль или поперек волокон аналогично методу для тонколистовых анизотропных ПМ.

Методы апробированы на ряде тонколистовых и массивных изделий из ПМ в диапазоне изменения коэффициента диффузии от $\sim 1\times10^{-9}$ до $\sim 2\times10^{-8}$ м^2/с [8 – 10]. Случайная погрешность определения коэффициента диффузии не превышала 6…9% для изотропных материалов и 8…13% – для анизотропных. Максимальная длительность эксперимента порядка 1 часа.

Таким образом, представленные в рамках единого методологического подхода методы неразрушающего контроля коэффициента диффузии полярных растворителей, позволяют проводить оперативный контроль искомой характеристики в тонколистовых и массивных изделиях из изотропных и анизотропных пористых материалов.

Список литературы

1. Delgado, J. M. P. Q. Application of different transient sorption methods to evaluate moisture diffusion coefficients of building materials on the hygroscopic range / J. M. P. Q. Delgado, N. M. M. Ramos, de V. P. Freitas // Journal of Building Physics. – 2011. – P. 251 – 266.

2. Modern Drying Technology. V. 2: Experimental Techniques / A. S. Mujumdar, E. Tsotsas (Eds). – Weinheim: Wiley-VCH VerlagGmbH&Co. KGaA, 2009. – 374 p.

3. Пат. 2199106 РФ, МПК G 01 N 15/08, 27/00. Способ определения коэффициента влагопроводности листовых капиллярно-пористых материалов / Беляев П. С., Гладких В. А., Сафронова Е. Н., Беляев М. П.; заявитель и патентообладатель ТГТУ. – № 2000130439; заявл. 04.12.2000; опубл. 20.02.2003, Бюл. № 5.

4. Беляев, М. П. Неразрушающий экспресс-контроль коэффициента диффузии полярных растворителей в тонких изделиях / В. П. Беляев, М. П. Беляев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2008. – Т. 14, № 1. – С. 41 – 47.

5. Мочалин, С. Н. Выбор оптимальных условий измерения характеристик влагопереноса в тонколистовых капиллярно-пористых материалах методом «мгновенного» источника влаги / С. Н. Мочалин, И. Н. Исаева, С. В. Пономарев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 3. – С. 533 – 545.

6. Беляев, М. П. Автоматизированная система неразрушающего контроля коэффициента диффузии растворителей в тонких изделиях из капиллярно-пористых материалов / М. П. Беляев, В. П. Беляев, А. Г. Дивин // Вестник Там-

бовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 4. – С. 797 – 802.

7. Проектирование измерительного устройства для определения коэффициента диффузии растворителей в тонких изделиях из капиллярно-пористых материалов / В. П. Беляев, М. П. Беляев, С. В. Мищенко, П. С. Беляев // Измерительная техника. – 2013. – № 10. – С. 65 – 69.

8. Беляев, В. П. Выбор оптимальных параметров режима измерений коэффициента диффузии растворителей при неразрушающем контроле изделий из капиллярно-пористых материалов / В. П. Беляев, С. В. Мищенко, П. С. Беляев // Измерительная техника. – 2015. – № 5. – С. 68 – 71.

9. Беляев, В. П. Определение коэффициента диффузии при неразрушающем контроле тонких изделий из анизотропных пористых материалов / В. П. Беляев, С. В. Мищенко, П. С. Беляев // Измерительная техника. – 2017. – № 4. – С. 60 – 64.

10. Беляев, В. П. Реализация неразрушающего контроля массивных изделий при измерении коэффициента диффузии растворителей / В. П. Беляев, С. В. Мищенко, П. С. Беляев // Инженерно-физический журнал. – 2017, Т. 90, № 3. – С. 733 – 741.

METHODOLOGY FOR DESIGNING NON-DESTRUCTIVE TESTING EQUIPMENT DIFFUSION COEFFICIENT IN POROUS MATERIALS

V. P. Belyaev, S. V. Mishchenko, P. S. Belyaev
Tambov State Technical University, *Tambov*
bps800@yandex.ru; *msv@tstu.ru*

Abstract. That makes it possible to realize non-destructive control of the diffusion coefficients for polar solvents in thin-sheet and massive products made from isotropic and anisotropic capillary-porous materials. During the investigation, flat areas of the products surfaces are used to place measuring devices on them. With the help of measuring devices, the impulse action of a given configuration is performed and the response to this effect is registered. Measuring devices design of the developed methods is also considered.

Keywords: non-destructive testing, diffusion coefficient, porous materials products.

УДК 66.063.2.011

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ В МАССИВНЫХ ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. П. Беляев, С. В. Мищенко, П. С. Беляев
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
bps800@yandex.ru; msv@tstu.ru

Аннотация. Рассматривается метод определения коэффициента диффузии растворителей в массивных изделиях из пористых материалов, характеризующихся существенной анизотропией свойств, обеспечивающий возможность непосредственного контроля изделий без их разрушения.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, коэффициент диффузии, изделия из пористых материалов, анизотропия.

Развитие современных высокотехнологичных производств тесно связано с использованием новых пористых материалов (ПМ), качественные характеристики которых определяются особенностями протекания процессов массопереноса жидких и газообразных сред, а также превращениями на границе раздела фаз [1, 2]. Интенсивные исследования в направлении использования перспективных технологических решений и применяемых модификаторов приводят к появлению значительного количества новых композиционных материалов [3]. Оценка их эффективности часто определяется способностью обеспечивать массоперенос целевых компонентов по системе пор, которая характеризуется коэффициентом диффузии. В настоящее время часто используются изделия в виде блоков или панелей из волокнистых композиционных материалов [4, 5], которые могут обладать существенной анизотропией свойств, обусловленной вынужденной или случайной ориентацией волокон при их производстве [4 – 6].

Для определения коэффициента диффузии в композиционных материалах наиболее часто используются методы, предусматривающие измерение пространственных распределений диффундирующих веществ [7, 8]. Применяемая при этом аппаратура характеризуется значительными массогабаритными параметрами и высокой стоимостью, а реализуемые методики измерения значительной продолжительностью [9, 10]. Большинство известных методов предусматривают использование образцов специальных форм и размеров [7 – 10],

что делает затруднительным их использование для неразрушающего оперативного контроля коэффициента диффузии в готовых изделиях. Наличие заметной анизотропии свойств [11] существенно осложняет решение задачи разработки метода неразрушающего контроля.

Представленный нами в [12] импульсный метод, базирующийся на точечном импульсном воздействии, при контроле изделий с выраженной анизотропией свойств обладает существенной методической погрешностью из-за существенного различия свойств материала в различных направлениях.

Цель настоящей работы – повышение точности неразрушающего контроля коэффициента диффузии растворителей в массивных изделиях из анизотропных пористых материалов.

Для достижения поставленной цели в контролируемом массивном изделии организуют массоперенос, аналогичный процессу диффузии в неограниченном цилиндре при действии линейного источника. Для этого к плоской поверхности изделия прижимается измерительный зонд, обеспечивающий линейное импульсное воздействие дозой растворителя и контроль изменения электродвижущей силы (ЭДС) гальванического преобразователя (ГП) на линии, параллельной линии нанесения импульсного воздействия и на заданном расстоянии от нее. После подачи импульсного воздействия зонд должен обеспечивать гидроизоляцию поверхности изделия в зоне действия источника.

Процесс распространения растворителя в массивном изделии после нанесения такого импульса описывается краевой задачей массопереноса в неограниченной среде при нанесении импульсного воздействия от линейного источника массы:

$$\frac{\partial U(r,\tau)}{\partial \tau} = D\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[r\frac{\partial U(r,\tau)}{\partial r}\right] + \frac{W}{\rho_0}\bar{\delta}(r,\tau), \quad \tau > 0, \quad 0 \le r < \infty, \qquad (1)$$

$$U(r,0) = U_0; \quad \frac{\partial U(0,\tau)}{\partial r} = 0; \quad U(\infty,\tau) = U_0. \qquad (2)$$

Расчетная формула для определения коэффициента диффузии имеет вид [13]

$$D = r_0^2 / (4\tau_{\max}), \qquad (3)$$

где τ_{max} – время, соответствующее максимуму на кривой $U(r_0, \tau)$ изменения концентрации растворителя на расстоянии r_0 от оси источника.

Вследствие монотонности статической характеристики ГП достижение концентрацией $U(r_0, \tau)$ своего максимального значения опре-

деляется в момент времени, соответствующий максимальному значению ЭДС гальванического преобразователя [12]. Это позволяет существенно повысить производительность исследований за счет исключения необходимости проведения градуировки ГП по каждому исследуемому материалу [12].

На рисунке 1 представлено измерительное устройство для реализации предлагаемого метода неразрушающего контроля.

Измерительное устройство прижимается к исследуемому материалу *1* плоской поверхностью в виде прямоугольника с размерами 100 × 120 мм. На несущей рамке *3* закреплена пластина *2* из политетрафторэтилена толщиной 4 мм с помощью четырех винтов *8*. На рамке *3* вдоль ее длинных сторон закреплены два профильных элемента *4* из стеклотекстолита, по направляющим которых в устройстве размещается стальной груз *5* для обеспечения необходимого усилия прижатия к контролируемому изделию.

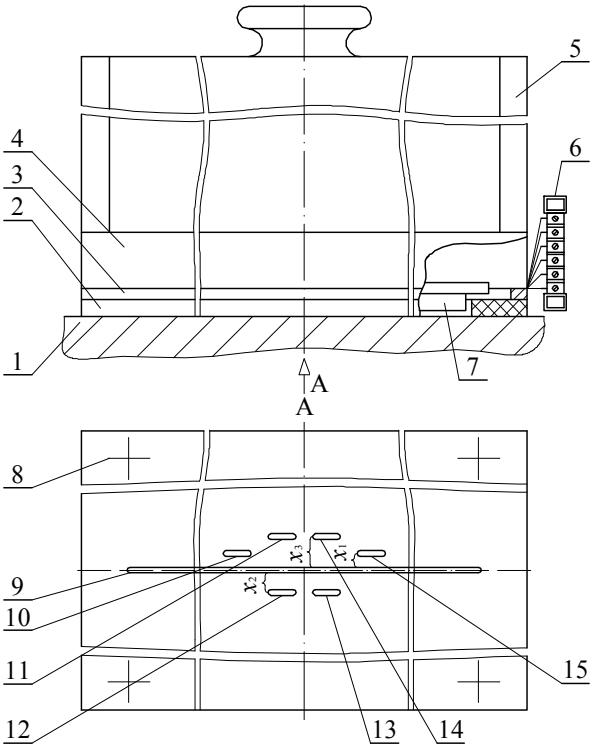


Рис. 1. Измерительное устройство

Пластина *2* имеет прямолинейный паз *9*, в котором перемещается линейный импульсный источник растворителя. Обращенная к исследуемому изделию плоскость пластины *2* имеет уплотнения (на рисунке не показаны). По обе стороны от оси паза и параллельно ей на расстояниях 3, 4 и 5 мм размещены электроды *10 – 15* ЭХП в виде прямолинейных отрезков длиной 3 мм и диаметром 0,2 мм. Длина паза для линейного источника составляет 100 мм. Электроды *10 – 15* выполнены из стальной упругой проволоки с нанесенным гальваническим способом покрытием цинком и медью, частично выступающей над поверхностью пластины *2* и с возможностью перемещения в специальные пазы при прижатии к исследуемому изделию. Соединительные провода от электродов подключены к коннектору *6*. После подачи импульса растворителя источник удаляется из устройства, паз *9* герметизируется заглушкой *7*, а само устройство обеспечивает гидроизоляцию поверхности образца в зоне действия источника и прилегающей к ней области контроля распространения растворителя.

Измерительное устройство апробировано при исследовании диффузии влаги и этанола в ряде массивных изделий из ПМ: газосиликатных блоках, пеногипсобетоне, цементно-стружечных плитах. На рисунке 2 в качестве примера представлены результаты двадцатикратных измерений коэффициента диффузии влаги вдоль и поперек волокон ЦСП.

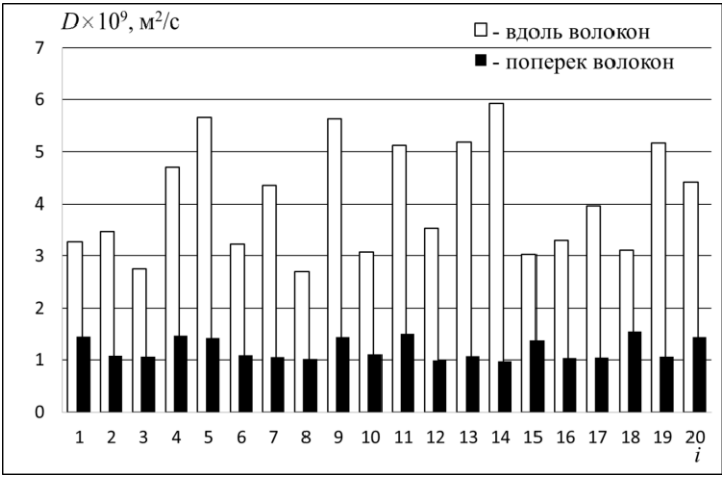


Рис. 2. Результаты контроля коэффициента диффузии влаги в ЦСП в *i*-м эксперименте (*i* = 1…20) при r_0 = 4 мм

В настоящее время нет возможности оценить систематическую составляющую погрешности в связи с отсутствием эталонных материалов для рассматриваемого класса систем ПМ–растворитель, поэтому проводилась оценка случайной составляющей погрешности.

Случайная погрешность определения коэффициента диффузии для анизотропных ПМ при доверительной вероятности 0,95 не превышала 10…13%. Максимальная длительность эксперимента порядка 1 часа.

Список литературы

1. Рудобашта, С. П. Тепломассоперенос при сушке в осциллирующем электромагнитном поле / С. П. Рудобашта, Э. М. Карташов, Н. А. Зуев // Теоретические основы химической технологии. – 2011. – Т. 45, № 6. – С. 641 – 647.

2. Карташов, Э. М. Диффузия в химико-технологических процессах / Э. М. Карташов, С. П. Рудобашта. – М.: Колосс, 2010. – 478 с.

3. Каблов, Е. Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года / Е. Н. Каблов // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № S. – С. 7 – 17.

4. Современные строительные композиционные материалы на основе древесных отходов / Р. Г. Сафин, В. В. Степанов, Э. Р. Хайруллина и др. // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 20. – С. 123 – 128.

5. Власенко, Ф. С. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях / Ф. С. Власенко, А. Е. Раскутин // Тр. ВИАМ. – 2013, № 8. – С. 4 – 13.

6. Drchalová, J. A simple gravimetric method for determining the moisture diffusivity of building materials / J. Drchalová, R. Černý // Construction and building materials. – 2003. – V. 17, N 3. – P. 223 – 228.

7. Roels, S. Analysis of moisture flow in porous materials using microfocus X-ray radiography / S. Roels, J. Carmeliet // Int. J. Heat Mass Transfer. – 2006. – V. 49, N 25. – P. 4762 – 4772.

8. Scheffler, G. A. Methods for moisture storage and transport property determination of autoclaved aerated concrete / G. A. Scheffler, R. Plagge // Art. submitted 5th Int. Autoclaved Aerated Concrete Conf., September 2011. – Bydgoszcz, Poland. – P. 337 – 350.

9. Modern Drying Technology. V. 2: Experimental Techniques / A. S. Mujumdar, E. Tsotsas (Eds). – Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. – 384 p.

10. Determination of moisture diffusivity in porous materials using gamma-method / M. I. Nizovtsev, S. V. Stankus, A. N. Sterlyagov et al. // Int. J. Heat Mass Transfer. – 2008. – V. 51, N 17. – P. 4161 – 4167.

11. Zuev, A. V. Model of the Structure of Fibrous Heat-Insulating Materials for Analyzing Combined Heat Transfer Processes / A. V. Zuev, P. V. Prosuntsov //

Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2014. – V. 87, N 6. – P. 1374 – 1385.

12. Belyaev, V. P. Implementation of Nondestructive Testing of Massive Products in Measuring the Diffusivity of Solvents / V. P. Belyaev, S. V. Mishchenko, P. S. Belyaev // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2017. – V. 90, N 3. – P. 697 – 704.

13. Карслоу, Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер. – М.: Наука, 1964. – 487 с.

IMPROVING THE ACCURACY OF NON-DESTRUCTIVE CONTROL OF THE DIFFUSION COEFFICIENT IN MASSIVE PRODUCTS OF POROUS MATERIALS

V. P. Belyaev, S. V. Mishchenko, P. S. Belyaev
Tambov State Technical University, *Tambov*
bps800@yandex.ru; *msv@tstu.ru*

Abstract. Method for determining the diffusion coefficient of solvents in massive products from porous materials characterized by a significant anisotropy of their properties is proposed. The method allows to control products without destroying them.

Keywords: non-destructive testing, diffusion coefficient, porous materials products, anisotropy.

УДК 616-71:616.379-008.64

АВТОКАЛИБРОВКА ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО ПАРАМЕТРА КОНЦЕНТРАЦИИ ПО АДАПТИВНОЙ НОРМИРУЕМОЙ ТОЧНОСТИ

Е. В. Власова, Е. И. Глинкин
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
birukova-ev@rambler.ru; *bmt@nnn.tstu.ru*

Аннотация. Предложена автокалибровка действительного параметра концентрации глюкозы крови по адаптивной нормируемой точности глюкотензограммы. Изобретение относится к области медицины, а именно, к диагностике. Для определения концентрации глюкозы в крови регистрируют отношения измеренных натощак значений систолического и диастолического артериальных давлений на левой и правой руках. Автокалибровка повышает метрологическую эффективность, точность и достоверность определения концентрации глюкозы в крови за счет снижения методической и инструментальной погрешности путем введения регулируемой нормируемой меры точности, автоматически отслеживающей адаптивный диапазон.

Ключевые слова: автокалибровка, глюкотензограмма, действительный параметр, предельные концентрация и артериальное давление, адаптивная нормируемая точность.

Известен способ определения концентрации глюкозы в крови [1], в котором утром, в отличие от известных решений определяют концентрацию глюкозы крови через отношение n по калибровочной характеристике, калибровку проводят априори на границах адаптивного диапазона для пациентов с известными содержанием глюкозы и регистрируемым отношением n, по которым находят предельное отношение n_0 систолического давления к диастолическому давлению и предельное содержание P_0 глюкозы крови, по которым строят калибровочную характеристику для определения действительного содержания глюкозы крови P по формуле, ммоль/л

$$P = P_0 \bullet \exp^{\frac{n}{n_0}}. \qquad (1)$$

Способ, по сравнению с аналогом, заменяет статистическую градуировку множества переменных адаптивной калибровкой по образцам, что повышает точность определения концентрации глюкозы по давлению для пациента при индивидуальном подходе. Недостатками способа [1] являются низкая достоверность результатов из-за от-

сутствия нормированной меры точности, автоматически отслеживающей адаптивный диапазон.

Технической задачей способа [2 – 5] является повышение метрологической эффективности, а именно, точности и достоверности, за счет снижения методической и инструментальной погрешности путем введения регулируемой нормируемой меры точности, автоматически отслеживающей адаптивный диапазон.

1. Для определения действительного значения физического параметра производят [1, 2] измерение и регистрируют величины, от которых зависит значение искомого физического параметра, для двух известных образцовых регистрируемых величин и значений физических параметров, соответствующих нижней и верхней границам диапазона измерения, находят предельные параметры исследуемой калибровочной характеристики для определения действительного значения физического параметра. Регистрируют отношение n максимального систолического давления P_S к минимальному диастолическому давлению P_D на левой и правой руках

$$n = P_S / P_D . \qquad (2)$$

2. Для двух образцов границ диапазона измерения по калибровочной характеристике глюкотензограммы находят предельное отношение систолического к диастолическому артериальных давлений и предельное содержание глюкозы крови и определяют концентрацию глюкозы крови.

Калибровку проводят априори на границах адаптивного диапазона для пациентов с известным содержанием P_1, P_2 глюкозы в крови, для которых регистрируют отношения n_1 и n_2 систолического давления к диастолическому давлению. По двум регистрируемым и известным значениям n_1, P_1 и n_2, P_2 находят предельное отношение n_0 систолического давления к диастолическому давлению и предельное содержание глюкозы P_0 в крови (рис. 1).

Содержание P глюкозы в крови определяют по калибровочной глюкотензограмме (1), ммоль/л, через отношение n максимального систолического и минимального диастолического давления (рис. 1 кривая *2*), с учетом информативных параметров: P_0 – предельное содержание глюкозы в крови и n_0 – предельное отношение давлений:

$$P_0 = \sqrt[k-1]{P_1^k / P_2} , \quad n_0 = (n_2 - n_1) / \ln(P_2 / P_1) . \qquad (3)$$

Из выражения (1) определяют содержание P глюкозы в крови.

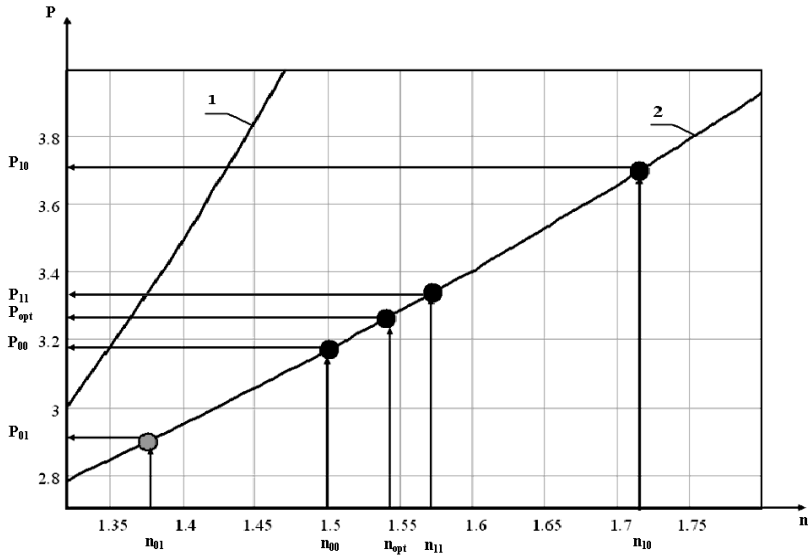


Рис. 1. Автокалибровка концентрации по адаптивной нормируемой точности

3. Для повышения достоверности в адаптивном диапазоне предложено при измерении глюкозы крови по артериальному давлению использовать для определения действительного содержания глюкозы крови все возможные сочетания [2] отношений давлений: n_{01} – минимальное систолическое к максимальному диастолическому, n_{11} – максимальное систолическое к максимальному диастолическому, n_{00} – минимальное систолическое к минимальному диастолическому и n_{10} – максимальное систолическое к минимальному диастолическому, по которым вычисляют соответственные значения глюкозы, используя калибровочную кривую с известными предельными параметрами.

4. Формируют комплексную оценку всех результатов концентрации глюкозы и нормированный эквивалент их максимальной величины, отношение которых служит адаптивной нормированной точностью.

5. Действительным значением принимают адаптивную меру нормированного эквивалента, представляемого средним арифметическим измеренных результатов концентрации глюкозы, расположенного в границах адаптивного диапазона с погрешностью, регламентируемой адаптивной нормированной точностью [4, 5].

В качестве действительного значения выбрано именно среднее арифметическое

$$\frac{1}{4}\sum_{i=0}^{1}\sum_{j=1}^{0}P_{ij} \tag{4}$$

всех возможных сочетаний n_{ij} и соответствующих им значений глюкозы P_{ij}, поскольку

$$\text{opt}\prod_{i=1}^{n}P_{ij}=\left(\frac{\sum P_{ij}}{N}\right)^{N}, \tag{5}$$

где N – количество возможных значений P.

Погрешность

$$\varepsilon = 1 - Q \tag{6}$$

регламентирована адаптивной нормируемой мерой точности Q, которую формируют как отношение среднего геометрического

$$\sqrt[4]{\prod_{i=0}^{1}\prod_{j=1}^{0}P_{ij}} \tag{7}$$

измерений глюкозы к действительному значению в соответствующей степени.

Адаптивная нормируемая мера точности оценивает заранее в адаптивном диапазоне точность измерения

$$Q=\frac{\prod_{i=0}^{1}\prod_{j=1}^{0}P_{ij}}{\left(\frac{1}{4}\sum_{i=0}^{1}\sum_{j=1}^{0}P_{ij}\right)^{4}}. \tag{8}$$

Предельные значения точности $Q = 1$ и погрешности $\varepsilon = 0$ служат закономерностями, положенными в основу автоматического регулирования нормируемой меры точности, отслеживающей адаптивный диапазон.

Таким образом, измерение глюкозы в крови по калибровочной характеристике, автоматически регулируемой в нормируемых границах адаптивного диапазона, выбора действительного значения глюкозы посредством среднего арифметического и заранее регламентированной адаптивной нормированной меры точности [3 – 5], в отличие

от способа [1], снижает методическую погрешность более чем на 65%, что в итоге в 1,65 раз повышает метрологическую эффективность по достоверности определения концентрации глюкозы по давлению.

Список литературы

1. Пат. № 2444279 (РФ), МКИ A61 5/022: Способ определения концентрации глюкозы в крови / Русавская И. В., Бирюкова Е. В., Глинкин Е. И. // Изобретения. Полезные модели. – 2012, Бюл. № 8.

2. Пат. № 2636181 (РФ). Способ определения действительного значения физического параметра / Власова Е. В., Глинкин Е. И. – A61B 5/145, 5/02, 2017, Бюл. № 33.

3. Эльбаев, А. Д. Диагностические системы взаимосвязи параметров гемодинамики и уровня глюкозы в крови / А. Д. Эльбаев // Клиническая физиология кровообращения. – 2006. – № 3. – С. 15 – 20.

4. Бирюкова, Е. В. Сопоставительный анализ способов определения погрешностей при измерении артериального давления / Е. В. Бирюкова, И. В. Русавская, Е. И. Глинкин // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы (Биомедсистемы-2009): сб. Междунар. конф. – Рязань: РГРТУ, 2009. – С. 12 – 14.

5. Власова, Е. В. Оценка эффективности по нормируемым мерам измерения / Е. В. Власова, Е. И. Глинкин // Вестник ТГУ. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГУ им. Г. Р. Державина, 2017. – Т. 22, вып. 2. – С. 479 – 485.

AUTOCALIBRATION OF THE VALID PARAMETER OF CONCENTRATION ON THE ADAPTIVE NORMALIZED ACCURACY

E. V. Vlasova, E. I. Glinkin
Tambov State Technical University, *Tambov*
birukova-ev@rambler.ru; *bmt@nnn.tstu.ru*

Abstract. Autocalibration of the valid parameter of concentration of glucose of blood on the adaptive normalized glyukotenzogramma accuracy is offered. The invention belongs to the field of medicine, namely to diagnostics. For definition of concentration of glucose in blood register the relations of the values of systolic and diastolic arterial pressure measured on an empty stomach on the left and right hands. Autocalibration increases metrological efficiency, accuracy and reliability of definition of concentration of glucose in blood due to decrease in a methodical and tool error by introduction of the adjustable normalized measure of the accuracy which is automatically tracing adaptive range.

Keywords: autocalibration, a glyukotenzogramma, the valid parameter, extreme concentration and arterial blood pressure, the adaptive normalized accuracy.

УДК 53.088

ВЛИЯНИЕ КОНЕЧНОСТИ РАЗМЕРОВ НАГРЕВАТЕЛЯ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
maynikova.nf@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрено влияние конечности размеров линейного нагревателя на погрешность определения теплофизических свойств материалов.

Ключевые слова: линейный источник тепла; математическое моделирование; метрологический анализ, погрешность, теплопроводность.

Контактные тепловые методы неразрушающего контроля (НК) позволяют определять теплофизические свойства (ТФС) твердых материалов по отклику на тепловое воздействие от нагревателя определенной формы [1]. Измерительная схема метода предусматривает тепловое воздействие на поверхность исследуемого тела, которое осуществляется с помощью линейного нагревателя. Измеряются значения температуры во времени (τ) на заданном расстоянии от нагревателя [1].

На определение ТФС материала влияют систематические составляющие погрешности [1, 2], которые вызываются следующими факторами: нагреватель имеет конечные размеры; нагреватель обладает определенной теплоемкостью; между нагревателем и изделием, а также между изделием и термоприемниками существуют термические сопротивления; часть тепла, выделяющегося на нагревателе, идет на нагрев материала подложки зонда. Показана эквивалентность многоимпульсного линейного источника тепла и линейного источника тепла постоянной мощности в той области термограммы, которая используется для определения ТФС (на рабочем участке, соответствующем регуляризации тепловых потоков) [1]. Рассматривая не многоимпульсный источник тепла, а эквивалентный ему источник тепла постоянной мощности, модель, описывающая температурное поле при больших τ, имеет вид [1]

$$T(r,\tau)=\frac{\overline{q}_0 R}{2\lambda}\left[\ln\left(\frac{4a\tau}{r^2}\right)-\gamma\right], \qquad (1)$$

где T – температура, °С; $\overline{q}_0$ – мощность, выделяющаяся на единице длины нагревателя, Вт/м; λ – теплопроводность, Вт/(м·К); a – температуропроводность, м^2/с; γ – число Эйлера.

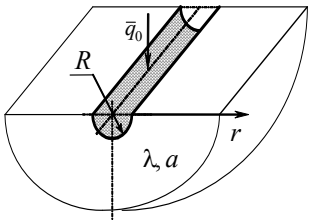


Рис. 1. Тепловая схема для нагревателя в виде тонкой цилиндрической нити

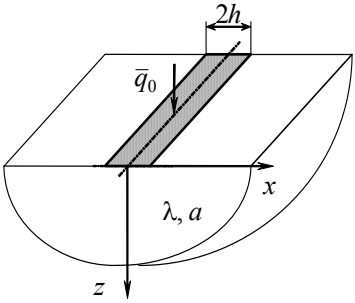


Рис. 2. Тепловая схема для нагревателя в виде узкой бесконечной полосы

Влияние конечности размеров нагревателя на точность определения ТФС рассмотрим для двух случаев.

1. Нагреватель в виде бесконечной цилиндрической нити радиусом R, через боковую поверхность которой в исследуемый материал подается тепловой поток $\bar{q}_0$ (рис. 1) [1].

Решение задачи в общем виде имеет следующий вид [1]:

$$T(r,\tau)=-\frac{2\bar{q}_0}{\pi\lambda}\int_0^{\infty}\left(1-\exp\left[-au^2\tau\right]\right)\frac{J_0(ur)K_1(uR)-K_0(ur)J_1(uR)}{u^2\left[J_0^2(uR)+K_1^2(uR)\right]}du\ , \quad (2)$$

где $J_0(x)$, $J_1(x)$ – цилиндрические функции первого рода или функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядка, соответственно; $K_0(x)$, $K_1(x)$ – цилиндрические функции второго рода или функции Неймана.

При больших τ и через мощность на единицу длины ($q_0=\bar{q}_0\pi R$):

$$T(r,\tau)=\frac{\bar{q}_0R}{2\lambda}\left[\ln\left(\frac{4a\tau}{r^2}\right)-\gamma\right] \quad (3)$$

и

$$T(r,\tau)=\frac{q_0}{2\pi\lambda}\left[\ln\left(\frac{4a\tau}{r^2}\right)-\gamma\right]. \quad (4)$$

Сравнив (4) с (1) при бóльших τ, можем отметить их идентичность.

2. Нагреватель в виде узкой бесконечной полосы шириной $2h$, через которую в исследуемый материал подается тепловой поток $\bar{q}_0$ (рис. 3) [1].

$$T(x,\,0,\,\tau)=\frac{\overline{q}_0 h\mathrm{Fo}^{1/2}}{\pi^{1/2}\lambda}\left\{\mathrm{erf}\left[\frac{h+x}{2h\mathrm{Fo}^{1/2}}\right]+\mathrm{erf}\left[\frac{h-x}{2h\mathrm{Fo}^{1/2}}\right]-\right.$$
$$\left.-\frac{h+x}{2h(\pi\mathrm{Fo})^{1/2}}\mathrm{Ei}\left[-\frac{(h+x)^2}{4h^2\mathrm{Fo}}\right]-\frac{h-x}{2h(\pi\mathrm{Fo})^{1/2}}\mathrm{Ei}\left[-\frac{(h-x)^2}{4h^2\mathrm{Fo}}\right]\right\}, \quad (5)$$

где $\mathrm{Fo}=\dfrac{a\tau}{h^2}$ – число Фурье; h – ширина полосы; x – координата.

$$\mathrm{erf}[x]=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{x^{2n+1}}{n!(2n+1)} \quad (6)$$

и

$$Ei[-x]=\gamma+\ln(x)+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-x)^n}{n\,n!}\,. \quad (7)$$

Используя соотношения (6 и 7), выражение для температуры [1]:

$$T(x,\,0,\,\tau)=\frac{\overline{q}_0 h}{\lambda\pi}\left\{\ln(4a\tau)-\frac{h+x}{2h}\ln(h+x)^2-\frac{h-x}{2h}\ln(h-x)^2+2-\gamma\right\}.$$

Через мощность на единицу длины нагревателя ($q_0=\overline{q}_0 2h$):

$$T(x,\,0,\,\tau)=\frac{q_0}{2\pi\lambda}\left\{\ln(4a\tau)-\frac{h+x}{2h}\ln(h+x)^2-\frac{h-x}{2h}\ln(h-x)^2+2-\gamma\right\}. \quad (8)$$

При $x >> h$, учитывая, что

$$\lim_{h\to 0}\left\{\frac{h+x}{2h}\ln(h+x)^2+\frac{h-x}{2h}\ln(h-x)^2\right\}=$$
$$=\lim_{h\to 0}\left\{\frac{h}{2h}\ln\left[(h+x)^2(h-x)^2\right]+\frac{x}{2h}\ln\left[\frac{(h+x)^2}{(h-x)^2}\right]^2\right\}=\ln\left(x^2\right)-2,$$

выражение (8) принимает вид

$$T(r,\,\tau)=\frac{q_0}{2\pi\lambda}\left(\ln\left[\frac{4a\tau}{r^2}\right]-\gamma\right)$$

и будет эквивалентно модели (1)

$$T(r,\,\tau)=\frac{q_0}{2\pi\lambda}\left[\ln(4a\tau)-\ln\left(r^2\right)-\gamma\right]. \quad (9)$$

Выражения (8) и (9) в единой форме:

$$T(r,\tau)=T(x,\,0,\;\tau)=\frac{q_0}{2\pi\lambda}\{\ln(4a\tau)-C[r(\text{или } x)]\}\ , \qquad (10)$$

где C [r (или x)] – величина, не зависящая от времени и ТФС исследуемого материала, а полностью определяющаяся конструктивными особенностями ИЗ. Постоянные зонда определяются исходя из градуировочных опытов. Градуировка и определение ТФС материала осуществляются на рабочем участке термограммы, где реально выполняются зависимости (1), (8), (10) [2].

Выводы: систематическая составляющая погрешности, связанная с конечностью размеров нагревателя, не будет сказываться на точности определения ТФС; определение ТФС на основе градуировочных опытов позволяет частично учесть систематическую составляющую погрешности.

Список литературы

1. Жуков, Н. П. Многомодельные методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 288 с.

THE EFFECT OF THE SIZE OF THE HEATER ON THE ACCURACY DETERMINATION OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF MATERIALS

N. F. Mainikova, I. V. Rogov
Tambov State Technical University, *Tambov*
maynikova.nf@yandex.ru

Abstract. The influence of final measures of heater and its heat capacity on the measurement error of materials thermal physical characteristics is considered.

Keywords: linear heat source, mathematical modeling, metrological analysis, measurement error, the thermal conductivity

УДК 681.523.2(055)

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ

М. М. Мордасов, М. Д. Мордасов
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
mmm-tmb@rambler.ru

Аннотация. Рассмотрена принципиальная пневматическая схема генератора прямоугольных импульсов, отличие которой состоит в изменении скважности от 1 до ∞ при независимой настройке времени длительности импульсов и длительности пауз в генерируемой последовательности. Теоретически и экспериментально обоснована работоспособность предложенного устройства.

Ключевые слова: генератор, пневматический, скважность, длительность импульсов и пауз, независимая настройка.

При технической реализации систем автоматического контроля и управления, часто возникает необходимость в получении импульсов давления сжатого воздуха [1 – 5]. В пневматических системах задача решается при помощи пневматических генераторов импульсов.

В настоящей статье приводится описание устройства и принципа действия генератора прямоугольных импульсов, обладающего как раздельной независимой настройкой длительности паузы $\tau_{пз}$ и длительности $\tau_и$ импульса, определяемых частоту и период следования импульсов, так и расширенным диапазоном настройки скважности импульсов.

Пневматический генератор импульсов (рис. 1) содержит пневматическое реле *1* с подпором в камере *2*, выход которого подключен через переменный дроссель *3* в сопло *4* пневматического реле *5* и непосредственно в его камеру *6*. Сопло *7* через переменный дроссель *8* соединено с атмосферой. В камеру *9* подан подпор, а сопловые камеры *10*, *11* и пневматическая емкость *12* подключены к камере *13* пневматического реле *1*. В сопло *14* подано давление питания.

После подачи давления питания в сопло *14* пневматического реле *1* и давления подпора в камеру *2* на выходе формируется давление $P_{вых} = 1$. Это давление поступает в камеру *6* пневматического реле *5*, перемещает мембранный блок, закрывая сопло *7* и открывая сопло *4*.

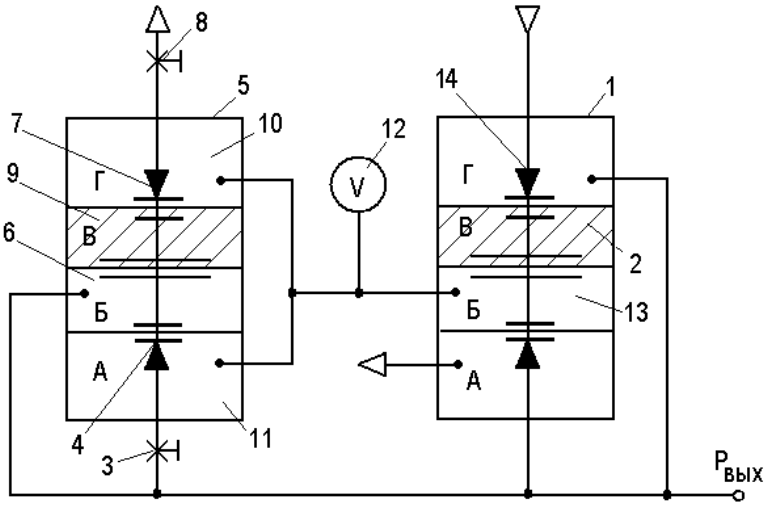


Рис. 1. Принципиальная пневматическая схема генератора прямоугольной формы

Давление $P_{вых}$ = 1, проходя через первый переменный дроссель *3* и открытое сопло *4*, заполняет пневматическую емкость *12*. Происходит рост давления в емкости *12*. В установившемся режиме работы изменение давления в емкости *12* происходит от нижнего $P_а$ до верхнего $P_б$ уровня срабатывания пневматического реле *1*.

Время $t_{аб}$ заполнения емкости *12* определяется уравнением в виде

$$t_{аб} = \tau_1 \ln\left[\frac{P_{пит} - P_а}{P_{пит} - P_б}\right],$$

где $\tau_1 = \dfrac{V}{RT^0\beta_3}$ – постоянная времени инерционного звена, состоящего из переменного дросселя *3* и емкости *12*; *V* – объем емкости *12*; *R* – газовая постоянная; T^0 – абсолютная температура; β_3 – проводимость дросселя *3*.

Как только давление в емкости *12*, а, следовательно в камере *13* достигнет верхнего уровня $P_б$, мембранный блок пневматического реле *1* переместится вверх, сопло *14* питания при этом закроется, а сопло сброса в атмосферу откроется. На выходе появится давление $P_{вых} = P_{атм} = 0$.

При $P_{вых} = 0$, поступающем в камеру *6*, мембранный блок второго пневматического реле *5* под действием давления подпора перемещается вниз. Сопло *4* закрывается, сопло *7* открывается, и емкость *12* с камерой *13* разгружается в атмосферу через второй переменный дроссель *8*. Разгрузка происходит от давления $P_б$ до $P_а$.

Время разгрузки $t_{ба} = \tau_2 \ln\left[\frac{P_б}{P_а}\right]$, где $\tau_2 = \frac{V}{RT^0\beta_8}$ – постоянная времени инерционного звена, образованного переменным дросселем *8* и емкостью *12*; β_8 – проводимость переменного дросселя *8*.

Учитывая, что V, R, T^0, $P_б$, $P_а$, $P_{пит}$ в процессе генерации можно считать постоянными величинами, то длительность импульса ($P_{вых} = 1$) $\tau_и = t_{аб} = c_1/\beta_3$, а длительность пауз ($P_{вых} = 0$) $\tau_{пз} = t_{ба} = c_2/\beta_8$, где

$$c_1 = \frac{V}{RT^0}\ln\left[\frac{P_{пит} - P_а}{P_{пит} - P_б}\right] \quad \text{и} \quad c_2 = \frac{V}{RT^0}\ln\left[\frac{P_б}{P_а}\right] -$$

постоянные коэффициенты.

Так как период следования импульсов $T_п = \tau_и + \tau_{пз}$, то его настройка легко осуществляется путем изменения времени паузы $\tau_{пз}$ после установки требуемой величины $\tau_и$ длительности импульса изменением проводимости β_3 первого переменного дросселя *8*.

В рассмотренном генераторе пневматических импульсов осуществляется раздельное изменение длительности $\tau_и$ импульсов и длительности $\tau_{пз}$ пауз в генерируемой последовательности импульсов путем изменения соответствующих проводимостей β_3 и β_8 переменных дросселей *3* и *8*.

Изменением проводимостей β_3 и β_8 можно изменять скважность следования импульсов от 1 до ∞. Скважность не может быть меньше 1, так как период всегда больше длительности импульса.

Разработанный пневматический генератор прост по конструкции и имеет расширенный диапазон изменения скважности импульсов. Экспериментальная проверка разработанного генератора показала его работоспособность при высокой стабильности генерации.

Список литературы

1. Мордасов, Д. М. Физические основы пневмодинамического измерения пористости веществ / Д. М. Мордасов, М. М. Мордасов, Н. А. Булгаков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 15, № 3. – С. 661 – 666.

2. Мордасов, Д. М. Пневматическое времяимпульсное устройство для измерения плотности сыпучих материалов / Д. М. Мордасов, М. М. Мордасов, Н. А. Булгаков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2000. – Т. 6, № 2. – С. 201 – 206.

3. Мордасов, Д. М. Пневмодинамический метод измерения удельного объема твердой фазы гетерогенных систем / Д. М. Мордасов, М. М. Мордасов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2002. – Т. 68, № 3. – С. 27 – 29.

4. Мордасов, Д. М. Бесконтактный аэрогидродинамический измерительный генератор / Д. М. Мордасов, М. М. Мордасов, А. П. Савенков // Приборы. – 2014. – № 8(170). – С. 10 – 14.

5. Мордасов, Д. М. Пневмодинамический числоимпульсный метод контроля плотности жидкостей / Д. М. Мордасов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2005. – Т. 11, № 2. – С. 363 – 367.

6. Ибрагимов, И. А. Элементы и системы пневмоавтоматики / И. А. Ибрагимов, Н. Г. Фарзане, Л. В. Илясов. – М.: Высшая школа, 1984. – 544 с.

PNEUMATIC SQUARE PULSE GENERATOR

M. M. Mordasov, M. D. Mordasov
Tambov State Technical University, *Tambov*
mmm-tmb@rambler.ru

Abstract. The principle pneumatic scheme of a rectangular pulse generator was being considered, the difference of which consists in changing the working cycle from 1 to ∞ with independent setting of the pulse duration and duration of the pause in the generated sequence. Theoretically and experimentally justified the characteristics of the proposed device.

Keywords: generator, pneumatic, signal ratio, pulse and pause duration, independent tuning.

УДК 681.335

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНТРОЛЯ ГЕМОСТАЗА

А. А. Одинокова, Е. И. Глинкин
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
Odinokovasashkkka6310@rambler.ru; glinkinei@rambler.ru

Аннотация. Оценена метрологическая эффективность времени свертывания крови при контроле гемостаза по калибровочным характеристикам, компенсирующим неопределенность информативных параметров.

Ключевые слова: контроль гемостаза, метрологическая эффективность, время свертывания крови, информативные параметры, калибровочные характеристики, прототип и инновация, оценка, методическая погрешность.

Рассмотрим метрологическую эффективность данного способа.

За прототип принят способ определения функционального состояния системы гемостаза [см. патент РФ №2430380, G01N 33/86, 2011], заключающийся в том, что проводят измерение амплитуды записи процесса свертывания крови в его начале, определяют показатели начала и конца процесса свертывания электрокоагулограммы крови и сравнивают их с одноименными показателями процесса свертывания крови в норме, и при разнонаправленных отклонениях диагностируют нарушения функционального состояния системы гемостаза, регистрируют текущую амплитуду сопротивления крови в первый момент времени и измеряют второе сопротивление крови в кратный момент времени от первоначального значения времени, по двум сопротивлениям и моментам времени находят предельное сопротивление крови и постоянную времени, по которым вычисляют сопротивление крови в начале и конце процесса свертывания и по найденным параметрам определяют показатели начала и конца процесса свертывания крови.

Недостатками прототипа являются низкая точность при отсутствии параметров эталонной характеристики – предельном напряжении крови и постоянной времени, которые не позволяют автоматически учитывать нелинейность неизвестных взаимозависимых калибровочных характеристик.

В авторском способе определения функционального состояния системы гемостаза проводят измерение амплитуды записи процесса свертывания крови в его начале, определяют показатели начала и конца процесса свертывания электрокоагулограммы крови и сравнивают

их с одноименными показателями процесса свертывания крови в норме и при разнонаправленных отклонениях диагностируют нарушения функционального состояния системы гемостаза, определяют информативные параметры: постоянную времени и предельное напряжение по калибровочным характеристикам, калибровку проводят априори для двух измеренных U_1, U_2 и известных U_{01}, U_{02} значений нижней t_1 и верхней t_2 границ адаптивного диапазона, в отличие от прототипа, калибровочными характеристиками служат функция предельного напряжения крови U_{0i}, компенсирующая неопределенность T^* постоянной времени T_0, и функция постоянной времени T_{0i}, компенсирующая неопределенность U^* предельного напряжения U_0, связывающие эталонную $U_{эi}$ и измеренную U_i характеристики за счет нормирования измеренных значений известными. По калибровочным характеристикам находят действительные значения постоянной времени и предельного напряжения, по которым последовательно строят калибровочную характеристику предельного напряжения, калибровочную характеристику постоянной времени, эталонную характеристику и определяют показатели начала и конца процесса свертывания крови.

Докажем метрологическую эффективность инновации относительно прототипа по методической погрешности ε_1 (рис. 1)

$$\varepsilon_1 = \left| \frac{U_{эi} - U_i}{U_{эi}} \right|. \qquad (1)$$

Из графика (рис. 1) видно, что методическая погрешность прототипа до 12%.

Оценим методическую погрешность ε_2 между эталонной и откалиброванной характеристиками.

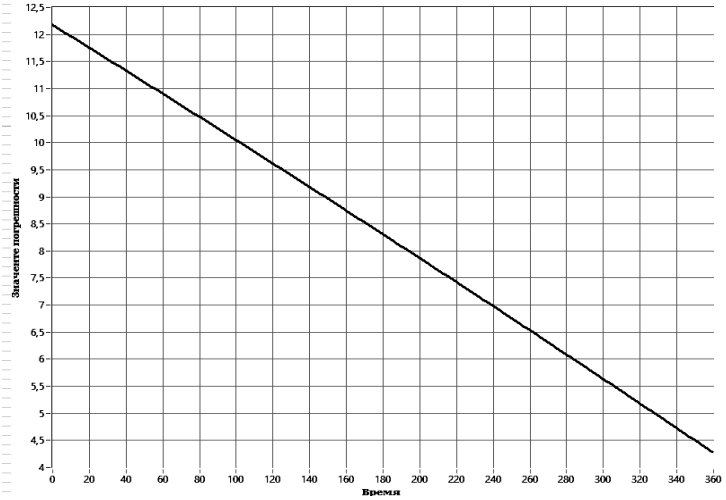
$$\varepsilon_2 = \left| \frac{U_{эi} - U_{di}}{U_{эi}} \right|. \qquad (2)$$

Из графика (рис. 2) видно, что относительная погрешность не превышает 1% против 12%, т.е. на порядок ниже за счет использования калибровочных характеристик в адаптивном диапазоне с нормированными значениями на границах.

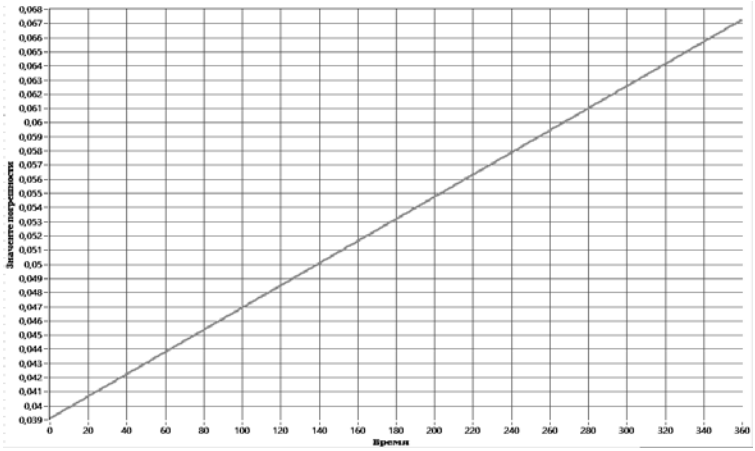
Оценим метрологическую эффективность по времени свертывания.

Время начала свертывания по эталонной характеристике (рис. 2, кривая *1*) $T_{н1} = 170$, время конца свертывания $T_{к1} = 460$ для норми-

рованных амплитуд $U_{\text{н}} = 7{,}34$, $U_{\text{к}} = 4{,}33$. Значения предельных параметров $U_0 = 10$; $T_0 = 550$, для откалиброванной характеристики (рис. 2, кривая *3*) предельные параметры $U_0 = 9{,}99$; $T_0 = 549{,}76$.



а)



б)

Рис. 1. Методическая погрешность:
а – прототипа; *б* – инновации

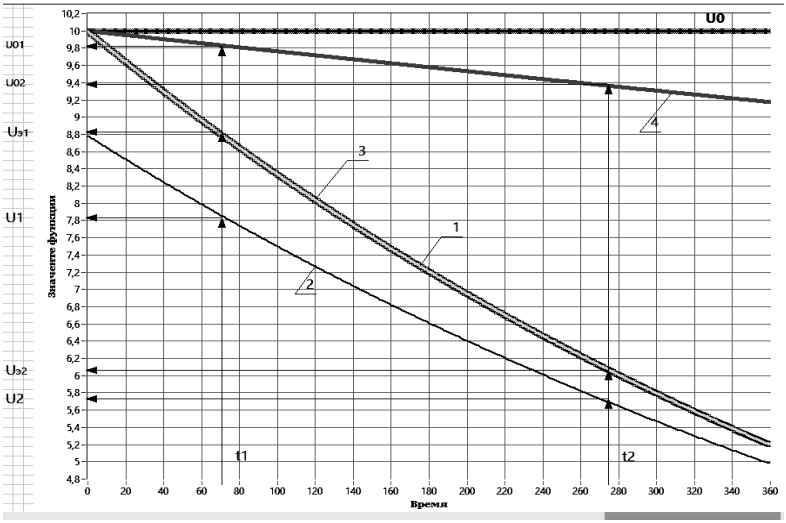


Рис. 2. Калибровочные характеристики

Найдем действительные значения времени (рис. 2, кривая *3*)

$$\begin{cases} T_{\text{н}} = 549{,}76 \cdot \ln\left(\dfrac{9{,}99}{7{,}34}\right), \\ T_{\text{к}} = 549{,}76 \cdot \ln\left(\dfrac{9{,}99}{4{,}33}\right). \end{cases} \quad T_{\text{н}} = 169{,}46 \quad \text{и} \quad T_{\text{к}} = 459{,}61.$$

Вычислим погрешность времени начала свертывания между характеристиками (3) и (1)

$$\varepsilon_{\text{н}} = \left|\frac{T_{\text{н1}} - T_{\text{н3}}}{T_{\text{н1}}}\right| \cdot 100\% = \left|\frac{170 - 169{,}46}{170}\right| \cdot 100\% = 0{,}32\%$$

и конца свертывания

$$\varepsilon_{\text{к}} = \left|\frac{T_{\text{к1}} - T_{\text{к3}}}{T_{\text{к1}}}\right| \cdot 100\% = \left|\frac{460 - 459{,}61}{460}\right| \cdot 100\% = 0{,}08\%.$$

По характеристике (5) (рис. 1, кривая *2*) для нормированных порогов амплитуд $U_{\text{н}} = 7{,}34$, $U_{\text{к}} = 4{,}33$ находим время свертывания прототипа $T_{\text{н2}} = 113{,}47$ и $T_{\text{к2}} = 447{,}78$.

Оценим погрешность времени конца свертывания между эталонной *1* и измеренной *2* характеристиками:

$$\varepsilon_{\text{к}} = \left|\frac{T_{\text{к1}} - T_{\text{к2}}}{T_{\text{к1}}}\right| \cdot 100\%, \quad \varepsilon_{\text{к}} = \left|\frac{460 - 447{,}78}{460}\right| \cdot 100\% = 2{,}66\%$$

и погрешность начала свертывания

$$\varepsilon_{н} = \left|\frac{T_{н1} - T_{н2}}{T_{н1}}\right| \cdot 100\%, \quad \varepsilon_{н} = \left|\frac{170 - 113{,}47}{170}\right| \cdot 100\% = 33{,}25\%.$$

Эффективность η по точности времени свертывания рассчитывают как отношение первой ко второй погрешности $\left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)$, из которого видно, что эффективность предлагаемого решения на четыре порядка выше прототипа, так как соответствуют $\eta_к = 0{,}03$ и $\eta_н = 0{,}01$.

Таким образом, определение действительных значений за счет нормирования измеренных значений известными по калибровочным характеристикам постоянной времени и предельного напряжения, в отличие от известных решений, снижает методическую погрешность на порядок, а точность времени свертывания повышает на 2 порядка, что в итоге повышает метрологическую эффективность компьютерных анализаторов для автоматизации выявления лиц группы риска развития гемокоагуляционных осложнений.

Список литературы

1. Одинокова, А. А. Разработка способа определения функционального состояния системы гемостаза. Новые информационные технологии / А. А. Одинокова // Тез. докл. XXI Междунар. студенческой школы-семинара. – М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. – С. 238.

2. Одинокова, А. А. Компьютерный анализатор определения времени свертывания крови. Биотехнические медицинские и экологические системы и комплексы: материалы конференции / А. А. Одинокова. – Рязань: РГРТУ, 2014. – С. 119–120.

METROLOGICAL EFFECTIVENESS OF HEMOSTASIS CONTROL

A. A. Odinokova, E. I. Glinkin
Tambov State Technical University, *Tambov*
Odinokovasashkkka6310@rambler.ru; *glinkinei@rambler.ru*

Abstract. The metrological efficiency of blood clotting time in the control of hemostasis by calibration characteristics is estimated, which compensates for the uncertainty of informative parameters.

Keywords: hemostasis control, metrological efficiency, blood clotting time, informative parameters, calibration characteristics, prototype and innovation, assessment, methodological error.

УДК 681.335

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СВЕРТЫВАНИЯ КРОВИ ПО ИНФОРМАТИВНЫМ ПАРАМЕТРАМ

А. А. Одинокова, Е. И. Глинкин
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
Odinokovasashkkka6310@rambler.ru; *glinkinei@rambler.ru*

Аннотация. Предложен способ определения времени свертывания крови по двум неизвестным информативным параметрам калибровочных характеристик, компенсирующим их неопределенность.

Ключевые слова: время свертывания крови, калибровочные характеристики, неизвестные информативные параметры, компенсирующие неопределенность, постоянная времени, предельное напряжение, система гемостаза.

Технической задачей способа являются повышение метрологической эффективности, а именно, точности измерений и сокращение времени исследования за счет исключения методической погрешности при определении предельных параметров по калибровочным характеристикам, компенсирующим их неопределенность.

В способе определения функционального состояния системы гемостаза проводят измерение амплитуды записи процесса свертывания крови в его начале, определяют показатели начала и конца процесса свертывания электрокоагулограммы крови и сравнивают их с одноименными показателями процесса свертывания крови в норме, и при разнонаправленных отклонениях диагностируют нарушения функционального состояния системы гемостаза. В отличие от прототипа определяют постоянную времени и предельное напряжение по калибровочным характеристикам. Калибровку проводят априори для двух измеренных U_1, U_2 и известных U_{01}, U_{02} значений нижней t_1 и верхней $t_2 = kt_1$ границ адаптивного диапазона. Калибровочными характеристиками служат функция предельного напряжения крови U_{0i}, компенсирующая неопределенность T_{0i} постоянной времени T_0, и функция постоянной времени T_{0i}, компенсирующая неопределенность U_{0i} предельного напряжения U_0, связывающие эталонную $U_{эi}$ и измеренную U_i характеристики за счет нормирования измеренных значений известными

$$U_{0i} = U_0 \exp\left(\frac{t_i}{T_{0i}} - \frac{t_i}{T_0}\right), \quad T_{0i} = \frac{t_i}{\frac{t_i}{T_0} + \ln\left(\frac{U_{0i}}{U_0}\right)}.$$

По калибровочным характеристикам U_{0i}, T_{0i} находят действительные значения постоянной времени T_0 и предельного напряжения U_0 крови

$$T_0 = \frac{t_2 - t_1}{\left(\frac{t_1}{T_{01}} - \frac{t_2}{T_{02}}\right) - \ln\left(\frac{U_{01}}{U_{02}}\right)}, \quad U_0 = U_{01}\sqrt[k-1]{\frac{U_{01}}{U_{02}}\exp\left(\frac{t_2}{T_{02}} - \frac{t_2}{T_{01}}\right)},$$

по которым последовательно строят калибровочную характеристику предельного напряжения U_{0i} крови, калибровочную характеристику постоянной времени T_{0i}, эталонную характеристику $U_{эi}$

$$U_{эi} = U_0 \exp\left(\frac{-t_{эi}}{T_0}\right)$$

и определяют показатели начала $T_н$ и конца $T_к$ процесса свертывания крови

$$\begin{cases} T_н = T_0 \ln\left(\frac{U_0}{U_н}\right), \\ T_к = T_0 \ln\left(\frac{U_0}{U_к}\right), \end{cases}$$

где $U_н$, $U_к$ – нормированные пороги напряжения начала и конца процесса свертывания крови.

Полученные значения начала $T_н$ и конца $T_к$ процесса гемокоагуляции сравнивают по величине с одноименными параметрами процесса гемокоагуляции здоровых людей. При обнаружении разнонаправленных отклонений от нормы диагностируют нарушение функционального состояния системы гемостаза.

Таким образом, рассмотренный авторский способ позволяет:

1) сделать способ более пригодным для индивидуального подхода к пациенту;

2) свести к минимуму погрешности определения времени свертывания крови за счет гибкой калибровочной характеристики с задан-

ной точностью образцовых мер, что ускоряет процесс определения времени свертывания крови;

3) обеспечить своевременную диагностику нарушений свертывающей системы крови и устранить ошибки лаборантов при определении состояния системы гемостаза.

Список литературы

1. Одинокова, А. А. Разработка способа определения функционального состояния системы гемостаза. Новые информационные технологии / А. А. Одинокова // Тез. докл. XXI Междунар. студенческой школы-семинара. – М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. – С. 238.

2. Пат. РФ № 2548780, МПК G01N 33/86. Способ определения функционального состояния системы гемостаза / Одинокова А. А., Глинкин Е. И., 20.04.2015, Бюл. № 11.

3. Глинкин, Е. И. Эффективность анализа гемостаза. Автоматизированный электропривод, автоматика, электроэнергетические системы / Е. И. Глинкин, А. А. Одинокова // сб. докл. Всерос. науч.-практ. конф. 1 – 4 июля 2014 г. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2014. – С. 36–37.

DETERMINATION OF BLOOD CLOTTING TIME BY THE INFORMATIVE PARAMETERS

A. A. Odinokova, E. I. Glinkin

Tambov State Technical University, *Tambov*

Odinokovasashkkka6310@rambler.ru; *glinkinei@rambler.ru*

Abstract. The method of blood clotting time determination by the two unknown informative parameters of calibration equations which compensates their indeterminacy is developed.

Keywords: blood clotting time, calibration equations, unknown informative parameters, time constant, critical voltage, hemostasis system.

УДК 681.335

НЕИНВАЗИВНЫЙ МОНИТОРИНГ КОНЦЕНТРАЦИИ ГЛЮКОЗЫ

Ю. Б. Сергеева, О. К. Абуладзе, Е. И. Глинкин
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
ulya_sergeeva94@mail.ru; abuladze94@mail.ru; bmt@nnn.tstu.ru

Аннотация. Предложен неинвазивный мониторинг концентрации глюкозы крови по калибровочным характеристикам: термограммам и глюкограмме с оптимальными параметрами известных образцов нормированных границ адаптивного диапазона. Способ обеспечивает повышение точности и метрологической эффективности неинвазивного определения концентрации глюкозы за счет исключения методической и динамической погрешностей для автоматизации компьютерных анализаторов глюкозы в адаптивном диапазоне нормируемых мер при повышении оперативности.

Ключевые слова: неинвазивный мониторинг, калибровка термограмм и глюкограммы, максимальная температура, постоянная времени, нормируемые параметры, погрешности.

За прототип принят способ неинвазивного определения концентрации глюкозы [3], в котором проводят непрерывный мониторинг концентрации глюкозы в крови путем измерения в области поверхностных вен головы тепловых потоков датчиком измерительного устройства, а концентрацию глюкозы определяют по передаточной функции концентрации глюкозы в крови от температуры и тепловому потока. Недостатками прототипа являются низкая метрологическая эффективность из-за высокой погрешности в широком диапазоне по фиксированной статистической градуировочной характеристике.

Технической задачей способа [4] является повышение метрологической эффективности за счет исключения методической и динамической погрешностей для автоматизации компьютерных анализаторов глюкозы в адаптивном диапазоне нормируемых мер.

Техническая задача достигается неинвазивным определением концентрации глюкозы крови по глюкограмме, калибруемой в нормированных границах адаптивного диапазона оптимальными максимальными температурами термограмм известных пациентов.

1. В способе определения концентрации глюкозы в крови [4], заключающемся в том, что накладывают термисторы над поверхност-

ной веной головы испытуемого и измеряют температуру и концентрацию глюкозы в крови, в отличие от прототипа, определяют концентрацию глюкозы крови по двум калибровочным характеристикам: глюкограмме и термограмме, параметры которых априори отождествляют с верхней и нижней границами адаптивного диапазона двух известных пациентов с нормированными параметрами. Параметры термограммы: постоянная времени T и максимальная температура E находятся по измеренным избыточным температурам U_i для $i = 1, 2$ в два момента времени: t_1 и бинарный $t_2 = 2t_1$. Параметрами глюкограммы служат: предельная температура E_0 и предельная концентрация глюкозы P_0 крови, которые регистрируют по измеренным концентрациям глюкозы P_j, где $j = 1, 2$ для двух максимальных температур E_1 и кратной $E_2 = nE_1$ термограммы $U(t)$

$$U = E\left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right)\right), \tag{1}$$

с тождественными границам диапазона параметрами: постоянной времени T и максимальной температурой E

$$T = \frac{-t_1}{\ln\left(\frac{U_2}{U_1} - 1\right)}, \quad E = \frac{U_1}{2 - \frac{U_2}{U_1}}, \tag{2}$$

при этом глюкограмма

$$P = P_0 \exp\left(\frac{E}{E_0}\right) \tag{3}$$

отражает физику натурного эксперимента, с тождественными границам диапазона параметрами: предельной температурой E_0 и предельной глюкозой P_0

$$E_0 = \frac{E_2 - E_1}{\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}, \quad P_0 = P_1 n - 1\sqrt{\frac{P_1}{P_2}}, \tag{4}$$

где $n = \frac{E_2}{E_1}$.

Сущность предлагаемого способа поясняется на рис. 1.

Предлагаемый способ перед измерением включает 2 этапа: 1 – калибровку параметров термограммы и 2 – калибровку параметров глюкограммы.

1 этап:

– при обследовании пациента натощак накладывают термисторы над поверхностной веной головы и измеряют температуру U_0^* (рис. 1, *а*, правая шкала) в начальный момент времени. Избыточные температуры (рис. 1, *а*, левая шкала), с учетом начальной температуры $U_0^* = 36°$, определяются соотношением

$$U_i = U_i^* - U_0^*; \qquad (5)$$

– после принятия пациентом глюкозосодержащей пищи регистрируют изменение температуры U_i для $i = 1, 2$ в течение времени t_1 и бинарном $t_2 = 2t_1$, по которым рассчитывают предельные параметры термограммы (рис. 1, *а*);

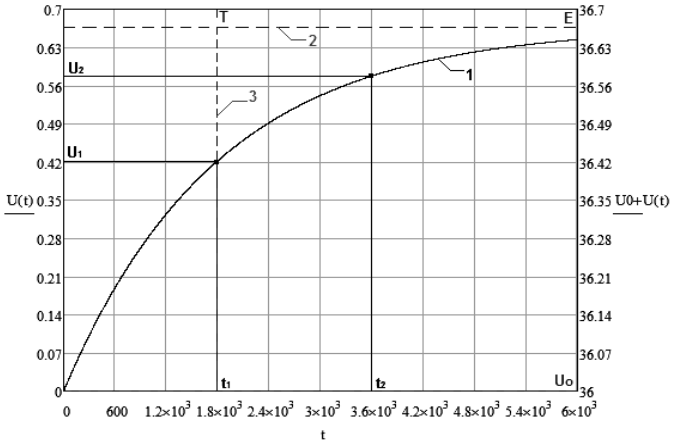
– предельные параметры находят априори для известных пациентов с нормированными границами адаптивного диапазона калибровочной характеристики температуры U от времени t (термограмме (1, *а*)). Закономерности параметров E и T тождественны оптимальным эквивалентам (рис. 1, *а*, кривая *2*, *3*) термограммы (1), которые интегрируют переменные температуры U и времени t.

Максимальные температуры (2) термограммы (1, *а*) служат на этапе 2 нормированными границами адаптивного диапазона исследуемой глюкограммы для ее отождествления с эквивалентом натурного эксперимента за счет нахождения оптимальных параметров эталонной глюкограммы.

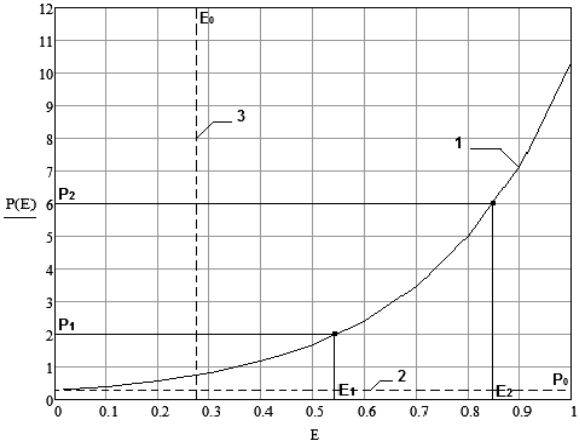
2 этап:

– определяют концентрацию P глюкозы крови через максимальную температуру E по калибровочной характеристике (3) глюкограммы, ммоль/л с учетом информативных параметров (4): P_0 – предельная глюкоза крови и E_0 – предельная температура (см. рис. 1, *б*);

– калибровочную характеристику (3) вводят априори для двух известных пациентов с нормированными границами адаптивного диапазона концентрации глюкозы P_1, P_2 крови, для которых определяют максимальные температуры E_1, E_2 на первом этапе. По двум известным концентрациям глюкозы и регистрируемым максимальным температурам P_1, E_1 и P_2, E_2 находят предельную глюкозу P_0 крови и предельную температуру E_0 (рис. 1, *б*).



а)



б)

Рис. 1. Калибровка:
а – термограммы; *б* – глюкограммы

К преимуществам предлагаемого способа диагностики, по сравнению с прототипом, относится повышение точности способа за счет исключения методической и динамической погрешностей посредством калибровки глюкограммы в нормированных границах адаптивного диапазона оптимальными максимальными температурами термограмм известных пациентов.

Таким образом, неинвазивное определение концентрации глюкозы крови по глюкограмме, калибруемой в нормированных границах адаптивного диапазона оптимальными максимальными температурами термограмм известных пациентов, в отличие от известных решений, снижает методическую и динамическую погрешности на несколько порядков при увеличении оперативности не менее чем в 3 раза, что в итоге повышает метрологическую эффективность определения концентрации глюкозы по температуре с априори заданной точностью для автоматизации компьютерных анализаторов в адаптивном диапазоне нормируемых мер.

Список литературы

1. Пат. № 2198586 (РФ). A61 B5/022, № 200123186. Способ определения концентрации глюкозы в крови / Эльбаев А. Д., Акаева С. А., Курданов Х. А. – 2002, Бюл. № 26.

2. Пат. № 5.795.305 (US). 60/549. Способ определения глюкозы в частях человеческого тела / Ok-Kyung Cho, Birgit Holzgreve. – 18.08.1998

3. Пат. № 2180514 (РФ). A61 B5/01, № 2001101121/14. Способ неинвазивного определения концентрации глюкозы / Шмелев В. М., Бобылев В. М. – 2002, Бюл. № 8.

4. Пат. № 2607494 (РФ). A61B5/145, Неинвазивный способ определения глюкозы крови / Сергеева Ю. Б., Абуладзе О. К., Глинкин Е. И. – 2014, Бюл. № 1.

NON-INVASIVE MONITORING OF GLUCOSE CONCENTRATION

Yu. B. Sergeeva, O. K Abuladze, E. I. Glinkin
Tambov State Technical University, *Tambov*
ulya_sergeeva94@mail.ru; *abuladze94@mail.ru*; *bmt@nnn.tstu.ru*

Abstract. Noninvasive monitoring of concentration of glucose of blood according to calibration characteristics is offered: to thermograms and a glyukogramma with optimum parameters of the known samples of rated borders of adaptive range. Calculation is carried out on certain mathematical formulas. The way provides increase in accuracy and metrological efficiency of noninvasive definition of concentration of glucose at the expense of an exception of methodical and dynamic errors for automation of computer analyzers of glucose in the adaptive range of the normalized measures at increase in efficiency.

Keywords: noninvasive monitoring, calibration of thermograms and a glyukogramma, the maximum temperature, time constant, the normalized parameters, errors.

УДК 536.629

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов

Аннотация. Разработана информационно-аналитическая система, в которой реализован метод оценки метрологической надежности, базирующийся на построении математических моделей изменения во времени метрологических характеристик проектируемых ЭИС с использованием аппарата аналитико-вероятностного прогнозирования.

Ключевые слова: электронно-измерительное средство, информационно-аналитическая, метрологическая надежность, метрологическая характеристика.

При проектировании электронных измерительных средств (ЭИС) особо важным является вопрос обеспечения их высокой метрологической надежности (МН), определяющейся характером и темпом изменения нормируемых метрологических характеристик (МХ) проектируемых ЭИС в течение всего времени эксплуатации.

Создана информационно-аналитическая система (ИАС), в которой реализован метод оценки и прогнозирования МН различных ЭИС, основанный на построении математических моделей изменения во времени МХ разрабатываемых ЭИС с применением аналитико-вероятностного прогнозирования [1]. В основе метода лежит математическое моделирование нестационарных случайных процессов изменения во времени метрологических характеристик ЭИС. При этом общий вид математической модели может быть представлен зависимостью

$$S = F(x, \vec{\xi}, \vec{\varphi}) = F(x, \xi_1, ..., \xi_n, \varphi_1, ..., \varphi_m), \quad (1)$$

где x – значение входного сигнала; $\xi_1, ..., \xi_n$ – параметры комплектующих элементов; $\varphi_1, ..., \varphi_m$ – внешние влияющие факторы.

Состояние МХ определяется с использованием данных об изменении во времени параметров элементов ЭИС, поэтому, чтобы сформировать базу данных значений МХ в заданные моменты времени

функционирования, применяется метод статистического моделирования по данным об изменениях во времени случайных величин параметров составляющих элементов ЭИС.

Реализация процедуры статистического моделирования осуществляется с использованием существующей в ИАС базы данных, включающей комплекс ММ временного изменения параметров комплектующих ЭИС элементов [2]. Интерфейс ИАС дает возможность добавлять в базу новые данные, ранее в нее не заложенные. По результатам проведенного статистического моделирования ИАС позволяет сформировать ММ временного изменения МХ проектируемой ЭИС, которая является основой для определения основных показателей метрологической надежности ЭИС: метрологического ресурса и вероятности сохранения метрологической исправности в заданные моменты времени предстоящей эксплуатации. Указанные результаты формируются в ИАС с использованием аппарата аналитико-вероятностного прогнозирования. При этом ИАС позволяет провести выбор оптимального математического описания изменения во времени МХ ЭИС, исходя из заложенных в базу данных различных видов нелинейных моделей:

– экспоненциальные вида

$$S(t) = a_0 \exp(a_1 t);$$

– логарифмические вида

$$S(t) = \ln(a_0 + a_1 t);$$

– полиномиальные

$$S(t) = \sum_{i=0}^{\rho} a_i t^{\rho};$$

– рациональные

$$S(t) = \frac{\sum_{i=0}^{n} b_i t^n}{1 + \sum_{j=1}^{m} c_j t^m};$$

– авторегрессионные

$$M_S(t)^{\text{пр}} = \overline{M_S(t)} + \phi_1(M_S(t_{i-1}) - \overline{M_S(t)}) + \phi_2(M_S(t_{i-2}) - \overline{M_S(t)},$$

где a_i – коэффициенты математической модели; t – время эксплуатации; b_i, c_j – коэффициенты математической модели; $i = 0, 1, ..., \rho$; n, m – степень полинома; $\overline{M_S(t)}$ – среднее значение математического ожидания МХ; $M_S(t_{i-1})$ – значение математического ожидания МХ в момент времени t_{i-1}; $M_S(t_{i-2})$ – значение математического ожидания МХ в момент времени t_{i-2}.

В ИАС предусмотрена возможность решения задач метрологического обслуживания ЭИС на этапе его предстоящей эксплуатации. В частности, на основе построенной ММ изменения во времени МХ исследуемого ЭИС решаются задачи определения величины межповерочных интервалов и необходимого количества измерений при проведении метрологических поверок ЭИС с использованием внесенных в ИАС соответствующих расчетных соотношений. На заключительном этапе в ИАС проводится расчет показателей качества проведенного прогнозирования МН: рассчитывается точность и достоверность прогнозирования на основе заложенных в ИАС аналитических зависимостей.

Таким образом, разработанная информационно-аналитическая система позволяет прогнозировать МН ЭИС на этапе их проектирования и дать рекомендации по метрологическому обслуживанию разрабатываемых измерительных средств при их предстоящей эксплуатации.

Список литературы

1. Чернышова, Т. И. Математическое моделирование метрологических характеристик при оценке метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская, Р. Ю. Курносов // Вестник Тамбовского государственного университета. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 209 – 215.

2. Чернышова, Т. И. Применение математического моделирования при реализации методов оценки и повышения метрологического ресурса аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Вестник Тамбовского государственного университета, – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 239 – 247.

INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR EVALUATION OF METROLOGICAL RELIABILITY OF ELECTRONIC MEASURING INSTRUMENTS AT THE DESIGN STAGE

T. I. Chernyshova, R. Yu. Kurnosov
Tambov State Technical University, *Tambov*

Abstract. The information-analytical system is developed; the method of estimation of metrological reliability based on construction of mathematical models of change in time of metrological characteristics of the projected EIS with use of the device of analytical-probabilistic forecasting is realized.

Keywords: electronic measuring instrument, information and analytical, metrological reliability, metrological characteristics.

Секция

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ, УПРАВЛЕНИЯ И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ, ПРОЦЕССОВ И УСЛУГ

УДК 53.096

INCREASE OF THERMAL PROPERTIES OF PELLETS FROM A MIXTURE OF STRAW AND COAL SLUDGE BY TORREFACTION

Rafail Is'emin[1], Alexander Mikhalev[1], Dmitry Klimov[1], Panagiotis Grammelis[2], Nikolaos Margaritis[2], Dimitrios-Sotirios Kourkoumpas[2]

[1]Clean Energy, Michurinskaya, 112i, 392032 Tambov, Russia
[2]CERTH, 6th km Charilaou-Thermi Rd, P.O. Box 60361, GR 57001 Thermi, Thessaloniki, Greece

Abstract. The paper describes preconditions for the development of a fundamentally new technology of combustion of coal waste, low rank coals and biomass. The technology involves the production of pellets from a mixture of coal and biomass with subsequent torrefaction of produced pellets in an environment with a low oxygen content at a temperature of 230 – 270 °C. Torrefied pellets have a calorific value by 17% higher than that of the original "raw" pellets, and the limit of their hygroscopicity, i.e. the ability to absorb moisture is by 1.55 times lower than that of the "raw" pellets. Torrefied pellets produced from a mixture of coal and biomass can be stored outdoors, and on combustion the boiler efficiency can increase by 5%.

Keywords: Biomass, coal, pellets, straw, torrefaction.

Introduction. Russia ranks second in coal reserves in the world, which is more than 4,000 billion tons (19% of the world reserves). Currently, 46 enrichment plants processing more than 145 million tons of coal per year are in operation. Coal sludge (coal washers waste) accounts for up to 15% (22 million tons per year) of this volume.

Coal sludge is a finely dispersed mass with organic content of 25 – 40%. The composition of the sludge is very unstable: humidity ranges from 18 to 40%, ash content ranges from 45 to 75%, the content of particles sized less than 0.1 mm is from 45 to 95%. Unclaimed coal sludge is stored in storage ponds (the so-called "black lakes"), polluting the environment for years.

One way to improve the efficiency of burning coal sludge is its cofiring with biomass since it is highly flammable and burns steadily. The heat generated by burning biomass provides stable ignition and combustion of low-reactive coal waste. In addition, biomass is subject to waste disposal. Cofiring of biomass and low-grade coal solves this problem. In addition, it is assumed that biomass is a CO_2 neutral fuel as the amount of carbon dioxide released during its burning is the same as the amount that the plant has absorbed during its growth, i.e. biomass combustion does not lead to an increase in greenhouse gas emissions.

On the other hand, biomass in its initial state has low bulk density, high humidity, it is difficult to transport over long distances and it must be stored indoors. It is difficult to prepare fuel mixture of coal and biomass, especially for small municipal and industrial boilers.

Biomass properties make it necessary to include two-stage grinding, drying or partial drying of the fuel, and removal of different foreign substances from the biomass in the process of fuel preparation. Various physical and chemical properties of coal and biomass cause problems associated with different rates of preparation for combustion and fuel combustion, the need to stabilize the flame, etc. [1, 2].

Problem statement. In this respect, it looks quite promising to produce pellets from a mixture of different fuels [3], in our case from a mixture of bitumen and rice husks, for subsequent combustion in boiler furnaces. It was found that these pellets could be burned in a fluidized bed with an efficiency of up to 95.5%. The level of NO_x emissions from the combustion of pellets does not exceed 120 – 150 ppm; the ash from burning of such pellets can be used as an adsorbent for the recovery of sulfur oxides. Burning of such pellets resolves the problems of storage and delivery of biofuels, as well as makes it possible to obtain the desired composition of the fuel mixture.

However, biomass is hydrophilic. Fuel bio-pellets disintegrate into dust in a few minutes at the slightest contact with moisture. This also applies to pellets made from a mixture of coal and biomass waste.

In addition, the burning rate of biomass is much higher than the burning rate of low-grade low-reactive coals. Because of this, at the outlet of the furnace the temperature increases, causing rapid growth of ash deposits on convection surfaces of boilers [4, 5].

Biomass can obtain hydrophobic properties while increasing its calorific value by its torrefaction, or low-temperature pyrolysis. The torrefied biomass has a volumetric heat content of 20 – 25% more than the original biomass; it becomes hydrophobic and does not rot [6, 7, 8, 9, 10].

Torrefied biomass burns slower than raw biomass (Fig. 1 [11]). Reduction in the burning rate of the torrefied biomass, including volatiles and coke residuals creates prerequisites for finishing the process of bio-

mass burning in the boiler furnace during its cofiring with coal. The gas temperature decreases at the exit from the furnace, and the probability of rapid growth of ash deposits on convection heating surfaces of the boiler is low. Therefore, it is proposed to use torrefied biomass for co-firing with coal.

However, the processes of torrefation of pellets produced from a mixture of coal and biomass waste are not well studied.

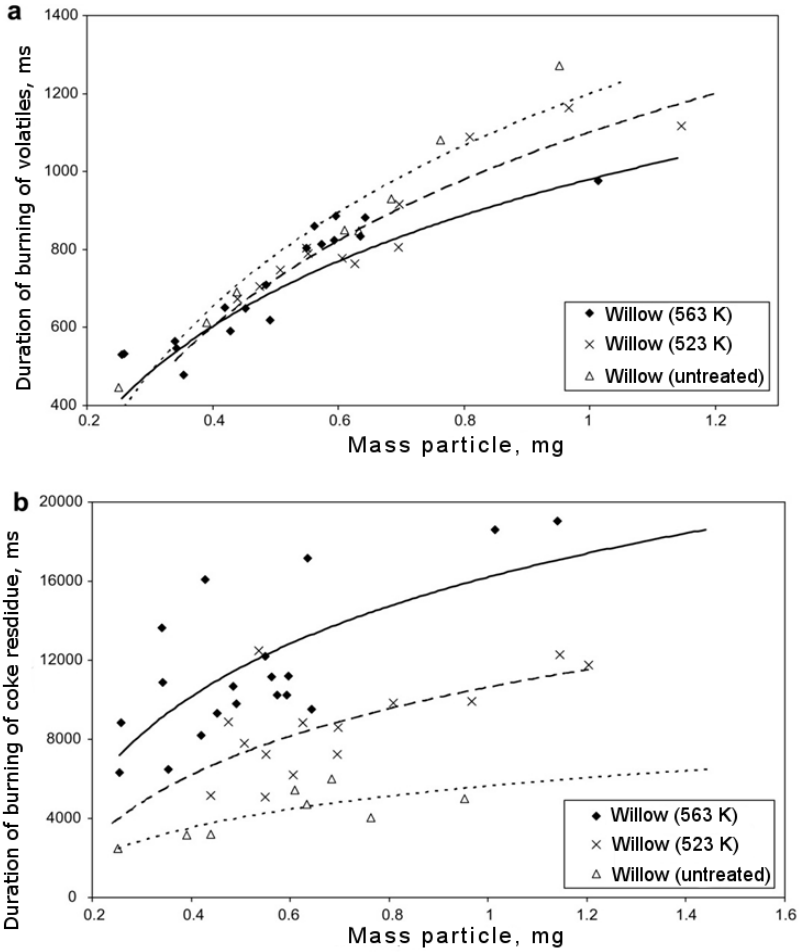


Fig. 1. Duration of burning of volatiles (a) and coke residue (b) of willow samples terrefied at various temperatures in comparison to raw samples [11]

Table 1. Characteristics of "raw" pellets (mass fraction of volatiles and ash content calculated on a dry basis)

Sample	Moisture content , %	Mass fraction of volatile products , %	Ash content , %
Coal sludge	2.1	17.73	49.2
Straw	5.7	72.48	9.42
Mixture (30% of straw – 70% of coal)	2.1	29.92	33.6

Investigation of the torrefaction process and subsequent burning of pellets made from a mixture of coal and biomass waste is the purpose of the present study.

Description of the setup and experimental methods. In vitro, we conducted modeling of the torrefaction process of straw and coal sludge pellets at different temperatures and exposure times. During the studies, we used pellets containing 30% of straw and 70% of coal sludge. The study was aimed at producing pellets of such composition since we wanted to use the largest possible amount of sludge as fuel. On the other hand, we failed to produce pellets, containing less than 30% of straw. Table 1 shows the characteristics of the original fuels and the produced "raw" pellets.

Low-temperature pyrolysis (torrefaction) of coal-straw pellets was carried out in a pilot "Hearthtype" reactor, the schematic diagram of which is shown in Fig. 2. All plants for torrefaction of the pellets are shown in Fig. 3.

The pilot reactor (Fig. 2) is a vertical apparatus divided into three sections in height. The upper sections are used for heating of the pellets by the high-temperature oil fed into the reactor jacket at a temperature of 300°C, and the lower section of the reactor serves to cool the pellets with water fed into the jacket of the lower section.

The reactor design provides supply (if necessary) nitrogen into the upper section of the reactor.

The pellets are loaded into the reactor from above and moved along the reactor sections with a stirrer.

The maximum performance of the reactor is 100 kg/h of "raw" pellets. The residence time of the pellets in a reactor and processing temperature are controlled.

During the experiment, a portion of pellets was loaded into the reactor, kept in the first and second sections for 40 min. at 230, 250 or 270 °C

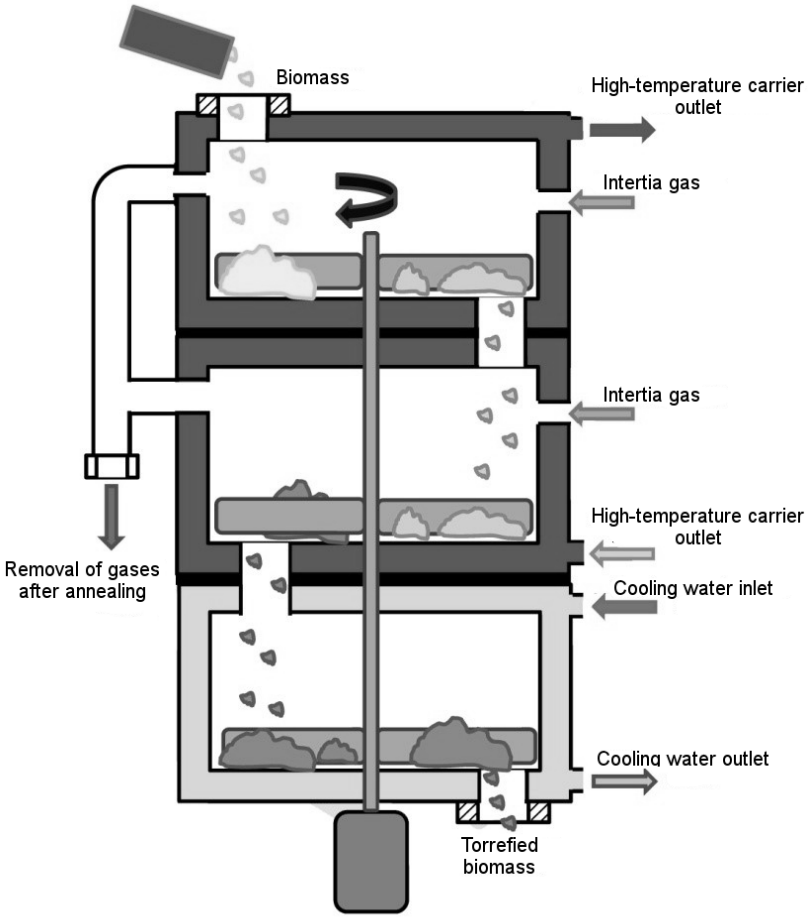


Fig. 2. A schematic diagram of the reactor for torrefaction of pellets

and then unloaded into the third section, where the temperature was cooled to 60°C. The heating rate of the pellets in the first and second sections was 20 ° C/min.

After cooling, the pellets were analyzed by known methods to determine the content of volatiles, oxygen, hydrogen, nitrogen, carbon, and a lower heat of combustion. Furthermore, every 5 minutes pellets weighing approximately 50 g were sampled from the reactor continuously.

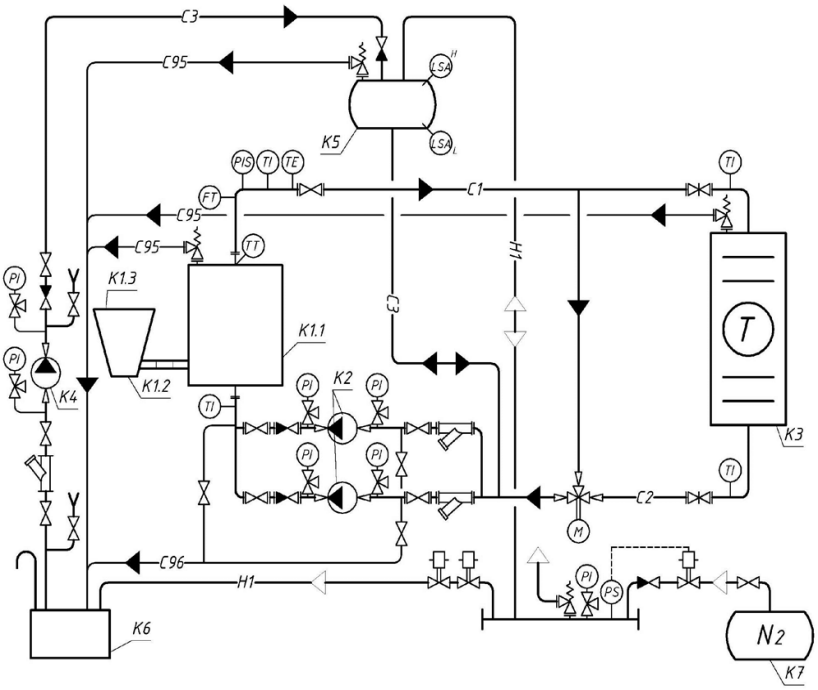


Fig. 3. Schematic diagram of complex pilot plant for torrefaction of pellets: К1.1 – heat generator; К1.2 – fuel tank; К1.3 – fuel supply system with a flexible auger; К2 – circulation pump; К3 – reactor for biomass burning; К4 – boost pump; К5 – expansion tank; К6 – heat medium storage tank; К7 – nitrogen storage tank

These samples of pellets were used to assess weight loss of pellets during torrefaction.

Combustion of "raw" and heat-treated pellets from the mixture of straw and coal sludge was investigated in a pilot plant with a capacity of 400 kW and a fluidized-bed furnace of quartz sand. The functional diagram of the plant is shown in Fig. 4.

The pellets heat-treated at a temperature of 270 °C were burned in the furnace. When burning pellets, VarioPlus analyzer was continuously used to measure the content of oxygen, carbon monoxide, oxides of sulfur and nitrogen in the flue gases via, and the fuel efficiency of the furnace and the connected boiler.

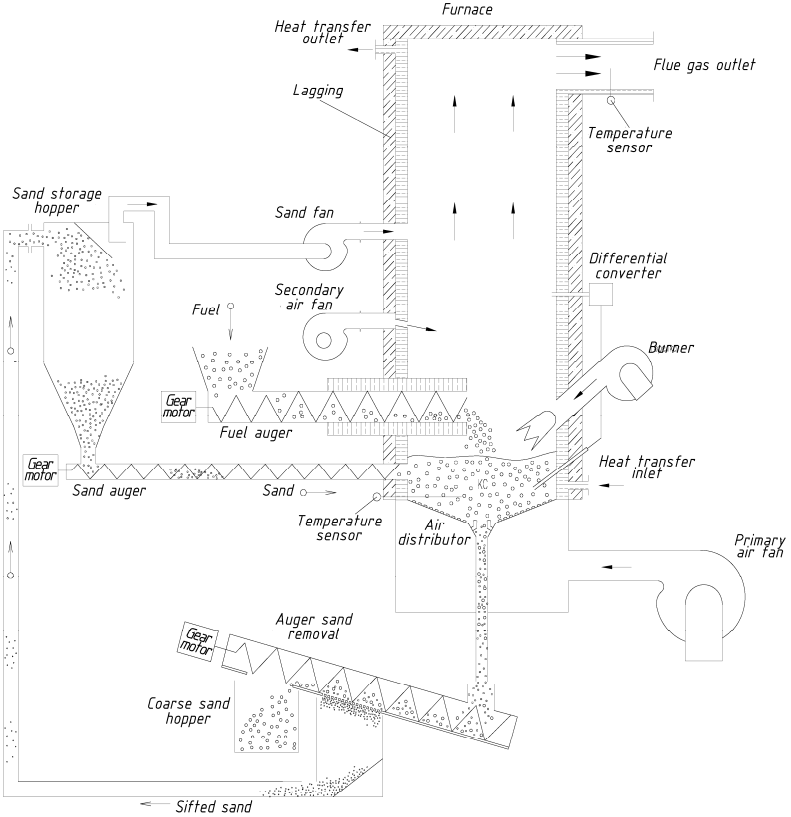


Fig. 4. Functional diagram of the pilot plant

Results and discussion. Fig. 5 shows the dependences characterizing the change in the relative mass of samples from different raw materials in the process of heating. As van be seen from Fig. 5, during heating the straw weight is reduced to the maximum extent (more than 70%). Thus, takes 30 minutes to reduce the straw weight (through release of moisture and volatile matter). Coal slurry body decreases through heat treatment by 18% (maximum), and it takes 80 minutes.

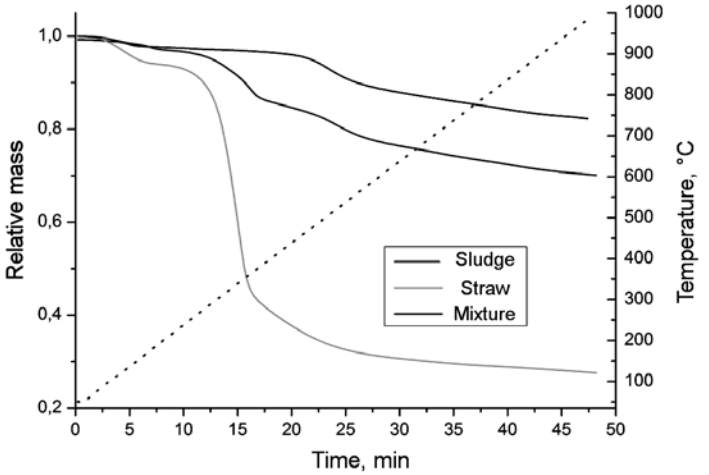


Fig. 5. The temperature change in the heating process (dashed line) and TG curves for the samples from different raw materials (solid lines)

As a result of torrefaction, the volatile content in the pellets decreases by 1.17 times (when processed at a temperature of 230 °C), and by 2.73 times (when processed at a temperature of 270 °C).

Torrefaction results in changes in the content of nitrogen, carbon, hydrogen and oxygen in the pellets (Table 2).

Table 2. The content of nitrogen, carbon, hydrogen and oxygen in the pellets (on dry state)

Parameter	Original pellets	Heat treatment temperature		
		230 °C	250 °C	270 °C
Nitrogen, %	1.12	1.11	1.15	1.14
Carbon, %	42.74	42.91	44.06	44.26
Hydrogen, %	3.57	3.37	3.58	3.26
Oxygen, %	17.77	17.52	14.63	10.47

Due to the sharp reduction (1.7 times) in the oxygen content and increase in the carbon content of the pellets, the calorific value of torrefied pellets increases to 29.2 MJ / kg (by 17% compared to “raw” pellets).

Moisture content of the solid fuel, which depends on the temperature and relative humidity, affects the calorific value. The limiting value of moisture absorbed by the material from the ambient air expressed in percentage by weight relative to the weight of dry material is called the hygroscopicity limit. The hygroscopicity limit is measured experimentally at a relative humidity of 100%; heat treatment has a significant effect on hygroscopic properties of different types of biomass, including straw, and improves its hydrophobic properties, thereby reducing the hygroscopicity limit. In this study, the hygroscopicity limit of raw pellets and heat-treated pellets was determined by the change in their weight after being in the air with almost 100% humidity at 22 °C. The holding time under these conditions was 48 hours. The hygroscopicity limit of heat-treated pellets at a temperature of 270 °C decreased by more than 1.5 times (from 11% to 7%).

Further, we studied the process of burning of coal-straw pellets heat-treated at 270 °C in a fluidized bed of quartz sand at a temperature of 800 – 900 °C in an experimental furnace (Fig. 4), which was connected to the boiler with capacity of 500 kW.

Fig. 6 and Fig. 7 show changes in the boiler efficiency when burning “raw” and torrefied pellets made from a mixture of coal sludge and straw. The boiler efficiency when burning torrefied pellets was higher by about 5% (owing to the removal of moisture and volatiles).

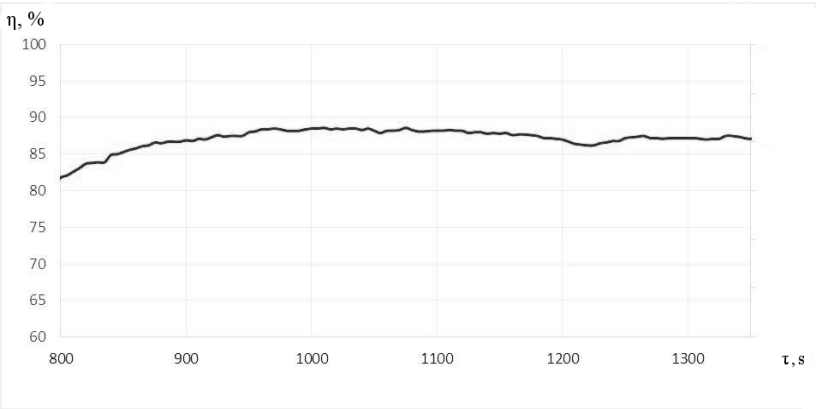


Fig. 6. Changes in the boiler efficiency when burning “raw” pellets

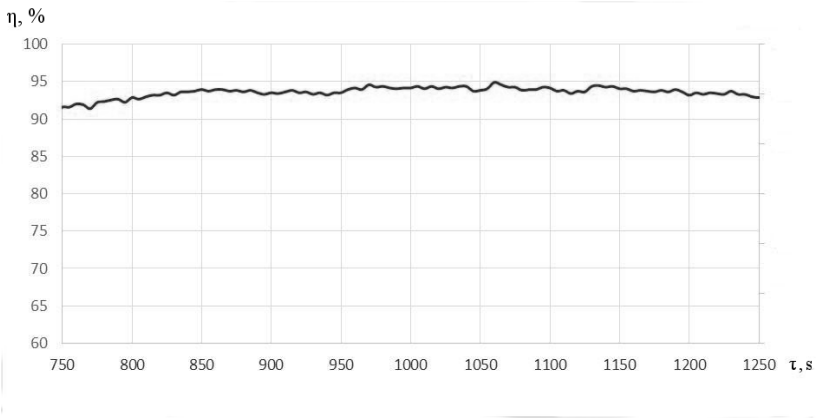


Fig. 7. Changes in the boiler efficiency when burning torrefied pellets

When burning "raw" straw pellets, the CO content in the flue gases (oxygen content of 6%) was an average of 200 mg/m^3, the NO_x content was 120 mg/m^3; when burning coal sludge the CO content was 200 mg/m^3, the NO_x content was 160 mg/m^3. When burning torrefied pellets, the CO content decreased to 100 mg/m^3, i.e. it halved. The content of nitrogen oxides was 140 mg m^3.

Conclusions

Torrefaction of pellets made from a mixture of coal sludge and straw:

1) increases the calorific value by 17%;

2) reduces the hygroscopicity limit by1.5 times;

3) reduces the emissions of carbon monoxide when burning coal-straw pellets by 2 times;

4) increases the efficiency of the boiler with a fluidized-bed furnace by 5%;

5) In our opinion, the conducted studies create preconditions for the development of a fundamentally new technology of burning coal and biomass, which involves the production of coal and biofuel pellets with a given content of biomass and subsequent torrefaction of the obtained pellets.

Acknowledgement: The scientific work was supported by Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises in Science and Technology (Russia). Project ERA.NET RUS PLUS TORRECOMB "A novel approach for the implementation of torrefaction in residential and communal heating boilers".

References

1. The Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing, "Earthscan", 2008, Edited by Sjaak van Loo and JaapKoppejan.

2. Werther, J. Potentials Of Biomass Co-Combustion in Coal – Fired Boilers / J. Werther // Proceeding on 19 International Conference on Fluidized Bed Combustion, May, 2009, Xi'an, China.

3. Combustion of Combined Rice Straw-Bitumen Pellets in a Fluidized Bed / F. Okasha, T. A. Cammarota, M. Urciuolo, R. Chirone // Proceeding on 19th International Conference on Fluidized Bed Combustion, May, 2006, Vienna, Austria.

4. Characterization on Combustion and Emission of Several Kind of Herbaceous Biomass Pellets in a Circulating Fluidized Bed Combuster / S. Y. Li, H. P. Teng, W. H. Jiao, L. L. Shang, Q. G. Lu // Proceeding on 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion, Xi'an, China, May, 2009. – P. 1309 – 1315.

5. Vesna Barisic. Prediction of agglomeration, fouling, and corrosion tendency of fuels in CFB co-combustion / Vesna Barisic, Edgardo Coda Zabetta, Juha Sarkki // Proceeding on 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion, Xi'an, China, May 2009. – P. 416 – 421.

6. Prins, M. J. More efficient biomass gasification via torrefaction / M. J. Prins, K. J. Ptasinski, F. J. J. G. Janssen // Energy, 2006. – 31. – P. 3458 – 3470.

7. A review of wood thermal pretreatments to improve wood composite properties. Wood Sci. Technol / M. R. Pelaez-Samaniego, V. Yadama, E. Lowell, R. Espinoza-Herrera. – 2013. – 47(6). – P. 1285 – 1319.

8. Thermal pretreatment of lignocellulosic biomass, Environ. Prog. Sustainable Energy / W. Yan, T. C. Acharjee, C. J. Coronella, V. R. Vasquez. – 2009. – N 28. – P. 435 – 440.

9. Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: a review / Van der Stelt MJC, H. Gerhauser, Kiel JHA, K. J. Ptasinski // Biomass & Bioenergy. – 2011. – N 35. – P. 3748 – 3762.

10. A review on advances of torrefaction technologies for biomass processing / B. Acharya, I. Sule, A. Dutta // Biomass Conversion and Biorefinery. – 2012. – N 2(4). – P. 349 – 369.

11. Romeo, J. C. Evaluation of Torrefaction + Pelletization Process to Transform Biomass in a Biofuel Suitable for Co – combustion / J. C. Romeo, J. Gil // Proceeding on 16th European Biomass Conference. – Valencia, Spain, 2008.

УДК 536.2

УСТАНОВКА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ МЕТОДА ЛИНЕЙНОГО ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛОТЫ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

С. В. Пономарев, В. О. Буланова, Е. В. Буланов, А. Г. Дивин
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
svponom@yahoo.com

Аннотация. Разработана математическая модель и измерительная ячейка, подключенная к информационно-измерительной и управляющей системе (ИИУС), для измерения теплопроводности и коэффициента температуропроводности теплоизоляционных материалов методом линейного импульсного источника теплоты.

Ключевые слова: температуропроводность, теплопроводность, измерительная ячейка, тепловой импульс, измерение, обработка данных.

Из анализа теоретических результатов [1, 2] следует, что в исследуемом материале (на расстоянии r от линейного нагревателя, в единице длины которого в течение промежутка времени $0 < \tau < \tau_u$ выделилось количество теплоты $Q_л = q_л \tau_u$), изменение температуры $T(r, \tau)$ может быть вычислено по формуле:

$$[T(r,\tau)-T_0]=\begin{cases}-\dfrac{q_л}{4\pi\lambda}Ei(-U(\tau)) \text{ при } 0<\tau<\tau_u;\\ -\dfrac{q_л}{4\pi\lambda}\left[Ei(-U(\tau))-Ei(-U(\tau-\tau_u))\right] \text{ при } 0<\tau<\tau_u,\end{cases} \quad (1)$$

где $q_л$ – тепловой поток; T_0 – начальная температура исследуемого материала; $Ei(u)=\int\limits_{-\infty}^{u}\frac{e^t}{t}dt=-\int\limits_{-u}^{\infty}\frac{e^{-t}}{t}dt$ – интегральная показательная функция, $U(\tau)=\frac{r^2}{4a\tau}$, $U(\tau-\tau_u)=\frac{r^2}{4a(\tau-\tau_u)}$ – безразмерные функции величин r, τ, τ_u, a; λ, a – теплопроводность и температуропроводность.

Методика обработки экспериментальных данных, предлагаемая авторами, базируется на использовании безразмерного параметра $\gamma=\frac{T(r,\tau)}{T_{\max}-T_0}$, который представляет собой отношение разности темпе-

ратур $[T(r, \tau) - T_0]$ (в момент времени τ) к максимальному значению разности температур $[T(r, \tau) - T_0] = [T_{max} - T_0]$ имеющему место в момент времени $\tau = \tau_{max}$.

Таким образом, расчетные соотношения для вычисления коэффициента температуропроводности и объемной теплоемкости имеет вид:

$$a = \frac{r^2}{4\tau' U(\tau')}, \quad c\rho = \frac{q_л \tau}{\pi r^2 [T(r,\tau) - T_0]} F[U(\tau)], \tag{3}$$

где τ' – значение момента времени τ, соответствующего заданной величине параметра γ; $F[U(\tau)] = U(\tau)\left\{ Ei\left[-U(\tau)\frac{\tau}{\tau - \tau_u} \right] - Ei[-U(\tau)] \right\}$.

На основе формул (3) были получены зависимости для вычисления погрешностей измерения коэффициента температуропроводности и объемной теплоемкости

$$(\delta a)_{ск} = \sqrt{4(\delta r)^2 + \left[\frac{\Delta T}{\tau \left\{ \frac{\partial [T(r,\tau) - T_0]}{\partial \tau} \right\}} \right]^2 + \left[\frac{1}{U(\tau(\gamma))} \frac{dU(\tau(\gamma))}{d\gamma} \sqrt{\gamma^2 + 1} \delta (T_{max} - T_0) \right]^2},$$

$$(\delta c\rho)_{ск} = \sqrt{4(\delta q_л)^2 + \left[\frac{\Delta T}{\tau \left\{ \frac{\partial [T(r,\tau) - T_0]}{\partial \tau} \right\}} \right]^2 + \left\{ \frac{1}{F(U(\tau(\gamma)))} \frac{\partial F(U(\tau(\gamma)))}{\partial \gamma} \delta (T_{max} - T_0) \sqrt{1 + \gamma^2} \right\}^2 + 4(\delta r)^2 + \left\{ \frac{\Delta T}{[T(r,\tau) - T_0]} \right\}^2}.$$

С использованием последних двух зависимостей было определено, что минимальные значения среднеквадратичных относительных погрешностей $(\delta a)_{ск}$ измерения коэффициента температуропроводности a достигаются при значениях безразмерного параметра γ^a в диапазоне $0{,}41 < \gamma^a \le 0{,}55$ и при значениях основного конструкционного

размера измерительного устройства в пределах $5{,}4\ \text{мм} < r \le 6{,}0\ \text{мм}$, причем $\gamma^{a}_{\text{опт}} \approx 0{,}48,$, $r^{a}_{\text{опт}} \approx 5{,}7$ мм. При измерении объемной теплоемкости минимальные значения погрешностей ($\delta c\rho_{\text{ск}}$ достигаются при значениях безразмерного параметра $0{,}78 < \gamma^{\text{ср}} \le 0{,}84$ и геометрического размера в диапазоне $4{,}5 \le r \le 5{,}1$ мм, причем, $\gamma^{\text{ср}}_{\text{опт}} \approx 0{,}81$, $\gamma^{\text{ср}}_{\text{опт}} \approx 4{,}8$ мм. Для минимизации погрешностей измерений значения длительности теплового импульса следует выбирать в диапазоне $18\ \text{с} < \tau_u < 24\ \text{с}$.

Физическая модель измерительного устройства представляет собой ячейку, в которую помещают образец, состоящий из двух пластин: нижней и верхней. Между верхней гранью нижней пластины и нижней гранью верхней пластины помещают линейный электронагреватель длиной L (выполненный, например, в виде тонкой металлической проволоки из нихрома, манганина или константана), а на расстоянии r от нагревателя в этой же плоскости размещают измеритель температуры (в виде термометра сопротивления из медной или вольфрамовой проволоки либо в виде термопары). Изготовлена измерительная ячейка, подключенная к информационно-измерительной и управляющей системе (ИИУС), схема которой приведена на рис. 1. Эта ИИУС включает в себя: ИЯ – измерительную ячейку метода линейного импульсного источника теплоты, КСУ – комплект согласующих устройств (включает мостовую схему, усилитель У, промежуточное реле К и блоки питания БП1, БП2), обеспечивающий взаимное согласование входных и выходных сигналов ИЯ и ПСД.

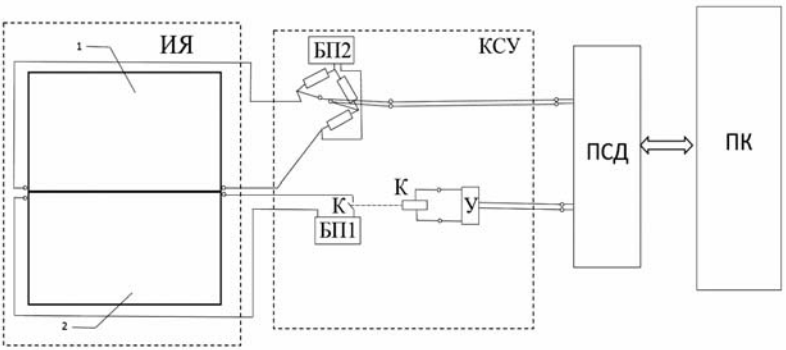


Рис. 1. Основные составные части ИИУС

Плата сбора данных ПСД, управляемая программой, созданной в среде LabVIEW, используется для измерения и последующей регистрации в персональном компьютере ПК первичной информации, поступающей с термопреобразователя сопротивления, а также для включения и отключения питания линейного нагревателя на измерительной ячейке. Сигнал с комплекта согласующих устройств подается на плату сбора данных, которая подключена к системному блоку компьютера. Обработка результатов эксперимента производится при помощи программного обеспечения LabVIEW.

Список литературы

1. Шашков, А. Г. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / А. Г. Шашков, Г. М. Волохов, Т. М. Абраменко. – М. : Энергия, 1973. – 336 с.

2. Ponomarev, S. V. Optimization of Measurements of the Thermophysical Parameters of Heat-Insulating Materials by Means of a Linear Pulse Heat Source / S. V. Ponomarev, V. O. Bulanova, A. G. Divin, E. V. Bulanov // Measurement Techniques, September, 2017. – V. 60. – Is. 6. – P. 583 – 588.

THE INSTALLATION FOR THE IMPLEMENTATION OF LINEAR IMPULSE HEAT SOURCE METHOD FOR THE MEASUREMENT OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF MATERIALS

S. V. Ponomarev, E. V. Bulanov, V. O. Bulanova, A. G. Divin
Tambov State Technical University, *Tambov*

Abstract. A mathematical model and a measuring cell connected to an information-measuring and control system (IIES) were developed to measure thermal conductivity and thermal diffusivity of heat insulation materials using method of linear impulse heat source.

Key words: thermal diffusivity, thermal conductivity, measuring cell, thermal impulse, measurement, data processing.

УДК 006:519.6:536.2.08

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА «8.3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ» ПО ТРЕБОВАНИЯМ МЕЖДУНАРОДНОГО СТАНДАРТА ISO 9001:2015

С. В. Пономарев, С. В. Мищенко
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
svponom@yahoo.com; *msv@tstu.ru*

Аннотация. Разъяснено содержание основных стадий и шагов деятельности при осуществлении процесса «Проектирование и разработка» в соответствии с требованиями и рекомендациями международных стандартов ИСО серии 9000.

Ключевые слова: процесс «Проектирование и разработка», стадии выполнения, шаги осуществления стадий, рекомендации.

В докладе рассматриваются содержание и отличие друг от друга понятий «Проектирование» и «Разработка», а также разъясняется содержание деятельности при выполнении процесса «8.3 Проектирование и разработка продукции и услуг» в системе менеджмента качества, выполненной по требованиям Международного стандарта ISO 9001:2015 [1].

Основные крупные стадии процесса «8.3 Проектирование и разработка продукции и услуг»

Процесс «8.3 Проектирование и разработка продукции и услуг» включает в себя две крупные стадии работ, первую из которых можно назвать «Первая стадия проектирования», а вторую следует назвать «Разработка – вторая стадия проектирования».

Первая стадия «Проектирование» процесса проектирования и разработки информационно-измерительной и управляющей системы

Первая стадия проектирования в ходе процесса «Проектирование и разработка», как правило, включает в себя выполнение следующих шести этапов (шагов) работ.

1. Уточнение и доработка технического задания на проектирование информационно-измерительной и управляющей системы (ИИУС) и его согласование с заказчиком.

2. Изучение опыта, накопленного предшествующими поколениями исследователей и проектировщиков, составление обзора лите-

ратуры и проведение патентного поиска по теме выполняемой научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы (НИОКР).

3. Принятие концептуального решения (после составления литературного обзора и проведения патентного поиска) о том, какой принцип действия и какой тип конструкции будут положены в основу проектируемого изделия и системы.

4. Создание математической модели проектируемого изделия (блока, процесса, программы или системы), формулирование целевой функции (функционала), определение постановки задачи оптимизации и ее решение.

5. Осуществление работ по подготовке чертежей сборочных единиц и чертежей деталей, принципиальных схем автоматизации, электрических и монтажных схем электронных блоков, схем подключения технических средств системы к управляющему компьютеру, а также создание алгоритмов для обработки экспериментальных данных и управления процессами функционирования проектируемой ИИУС.

6. На шестом этапе составляется и утверждается смета затрат и план мероприятий, требующихся для осуществления дальнейших работ по созданию опытного образца проектируемой ИИУС, в том числе, определяется потребность в закупке необходимых деталей, блоков, инструментов, приборов и программных продуктов.

После успешного окончания шестого этапа работ, завершающего первую крупную стадию «Проектирование», начинается вторая крупная стадия осуществления процесса «8.3 Проектирование и разработка продукции и услуг». Эту стадию, включающую в себя восемь этапов, называют «Разработка».

Вторая стадия «Разработка» в рамках процесса «8.3 Проектирование и разработка продукции и услуг»

7. Первоначальный этап рассматриваемой ниже второй крупной стадии «Разработка» начинается в тот момент времени, когда по утвержденным планам работ и сметам затрат, чертежам, схемам, математическим моделям и алгоритмам приступают к процессам производства, программирования и закупок, в ходе которых изготавливают необходимые детали, печатные платы блоков, составляют программы и приобретают необходимые материалы, сырье, комплектующие изделия, приборы и средства автоматизации, программное обеспечение и другие необходимые для дальнейшей работы средства.

8. На очередном шаге (этапе) стадии «Разработка» в рамках процесса «Проектирование и разработка» осуществляют следующее:

– из изготовленных деталей и закупленных комплектующих изделий собирают сборочные единицы, проверяют их работоспособность и, при необходимости, осуществляют отладку, а затем проводят испытания работы собранных технических средств (независимо от других составных частей будущей ИИУС);

– из закупленных электронных элементов, микросхем, реле, транзисторов, резисторов, диодов собирают электронные блоки, а затем проводят проверку их работоспособности и, при необходимости, осуществляют их отладку и испытания (отдельно от работы других составных частей будущей ИИУС);

– параллельно, на основе ранее разработанных математических моделей и алгоритмов, составляют программы для сбора и обработки экспериментальных данных, а также для управления процессами функционирования создаваемой ИИУС, а затем осуществляют отладку и испытания создаваемого программного обеспечения на основе использования контрольных примеров (независимо от работы технических средств и электронных блоков).

9. На девятом этапе работы осуществляют интеграцию (объединение) созданных на предыдущем этапе технических, электронных и программных средств в единую информационно-измерительную и управляющую систему (ИИУС).

10. Далее осуществляют отладку работы и всесторонние испытания функционирования перечисленных выше трех составных частей ИИУС в условиях их совместной работы в составе объединенной ИИУС.

11. На одиннадцатом этапе (шаге) работы выполняют отладку и проводят испытания ИИУС (в лаборатории проектировщика) при проведении измерений с использованием эталонных образцов и средств.

Если результаты проведенных испытаний ИИУС не в полной мере соответствуют требованиям технического задания, то специалисты проектной организации должны выявить сущность имеющихся несоответствий в работе технического, математического, алгоритмического и программного обеспечений создаваемой системы, а затем запланировать и осуществить так называемые коррекции (исправляющие действия, направленные на устранение выявленных несоответствий), а затем провести повторные испытания ИИУС.

Наряду с выполнением коррекций, в процессах деятельности проектной организации следует выявить причины, по которым в проекте

появились несоответствия, а затем запланировать и осуществить так называемые корректирующие действия, направленные на устранение причин проявившихся несоответствий (имеющихся в процессах деятельности специалистов проектной организации).

После получения (во время испытаний в лаборатории Исполнителя) убедительных свидетельств того, что выходные данные процесса «Проектирование и разработка» соответствуют входным данным, сформулированным в техническом задании на проектирование, можно перейти к очередному шагу (этапу) работы.

12. Проведение приемо-сдаточных испытаний в условиях реальной эксплуатации ИИУС, которые иногда осуществляют в лаборатории Исполнителя (в присутствии одного или нескольких представителей Заказчика), но, чаше всего, такие испытания проводят в организации Заказчика.

При выявлении в функционировании созданной ИИУС недостатков, Исполнитель осуществляет доработку системы и устранение выявленных несоответствий, а затем предъявляет доработанную ИИУС на повторные приемо-сдаточные испытания.

13. После успешного завершения приемо-сдаточных испытаний, Заказчику передают отчет о выполненной работе с комплектом чертежей, схем, математических моделей, алгоритмов и программ. Как правило, изготовленный опытный образец ИИУС тоже передается Заказчику.

14. По результатам 13 этапа составляют акт приемки-сдачи результатов выполненных работ. На основании этого акта в дальнейшем проводится окончательный финансовый расчет между Заказчиком и Исполнителем.

* * *

Опыт использования изложенных выше рекомендаций по осуществлению основных этапов двух крупных стадий «Проектирование» и «Разработка» в рамках процесса «8.3 Проектирование и разработка продукции и услуг» свидетельствует о получении положительных результатов [2, 3] при практическом выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Список литературы

1. ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements.

2. Любимова, Д. А. Измерение теплофизических свойств теплоизоляционных материалов методом регулярного режима третьего рода: монография /

Д. А. Любимова, С. В. Пономарев, А. Г. Дивин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 80 с.

3. Пономарев, С. В. Применение математических основ метрологии при оптимизации режимных параметров методов и основных конструкционных размеров устройств для измерения теплофизических свойств веществ : монография / С. В. Пономарев, А. Г. Дивин, Д. А. Любимова ; под науч. ред. С. В. Пономарева. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 160 с.

THE IMPLEMENTATION OF THE PROCESS "8.3 DESIGN AND DEVELOPMENT OF PRODUCTS AND SERVICES" ACCORDING TO REQUIREMENTS OF INTERNATIONAL STANDARD ISO 9001:2015

S. V. Ponomarev, S. V. Mishchenko
Tambov State Technical University, *Tambov*

Abstract. The content of the main stages and steps in the implementation of the process "Design and development" in accordance with the requirements and recommendations of the international standards ISO 9000 is explained.

Keywords: "Design and development" process, stages of implementation, phases of stages implementation, recommendations.

УДК 621.78.012

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МЕТРОЛОГИИ И ОПТИМИЗАЦИИ КАК ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ПРИБОРОВ

С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, А. Г. Дивин, С. С. С. Аль-Бусаиди
Тамбовский государственный технический университет, Тамбов
e-mail: svponom@yahoo.com; e-mail: msv@tstu.ru

Аннотация. Рассмотрены основные этапы применения математических методов при проектировании и модернизации теплофизических приборов.

Ключевые слова: измерения, погрешности, причины, анализ, моделирование погрешностей, метод, прибор, улучшение, отладка, эксплуатация

В ФГБОУ ВО «ТГТУ» накоплен опыт применения математических методов метрологии и решений задач оптимизации при проектировании и совершенствовании теплофизических методов и измерительных устройств, изложенный в публикациях [1 – 21]. Обобщая этот опыт, можно сформировать следующие рекомендации по постановке и решению математических задач минимизации погрешностей измерений при проектировании и модернизации методов и средств теплофизических измерений.

1. На основе имеющегося опыта осуществления измерений теплофизических свойств или характеристик массопереноса с применением конкретного метода и экспериментальной установки следует осуществить анализ источников погрешностей измерений и выявить возможные варианты действий по снижению погрешности измерений. Примеры проведения таких анализов приведены в [1 – 6, 13, 15 – 19].

2. На основе понимания физических процессов и имеющейся математической модели полей температуры или массосодержания в исследуемом образце следует модернизировать расчетную формулу, ранее использовавшуюся для вычисления искомых теплофизических свойств и характеристик массопереноса [1 – 3, 6, 11 – 15]. В частности, в монографии [14] вместо формулы $a = \dfrac{x^2}{2\tau_{\max}}$ предложено использовать соотношение

$$a = \frac{x^2}{4z'\tau'}, \qquad (1)$$

где x – расстояние от плоского нагревателя до места измерения температуры; τ_{max} – момент времени (измеряемый с большой погрешностью), в который достигается минимальное значение температуры $T_{max} = T(x, \tau_{max})$; τ' – момент времени (измеряемый точнее, чем τ_{max}), в который достигается значение температуры $T(x, \tau') - T_0 = \beta(T_{max} - T_0)$, $\beta = \dfrac{T(r,\tau) - T_0}{T_{max} - T_0}$ – безразмерный параметр, задаваемый в диапазоне значений $0 < \beta < 1$; T_0 – начальное значение температуры образца; z' – корень уравнения $\sqrt{z} \cdot \exp(-z) = \dfrac{\beta}{\sqrt{2e}}$, зависящий от заданного значения параметра β.

3. Получают соотношения для вычисления погрешностей измерений, используемые в дальнейшем в качестве целевых функций (функционалов) при постановке и решении задачи минимизации погрешностей.

Примеры процессов вывода соотношений для вычисления погрешностей измерения рассмотрены в [1, 2, 6, 13 – 15]. В частности, в [14, 15] получены зависимости для вычисления погрешностей измерений коэффициента температуропроводности и объемной теплоемкости, имеющие вид

$$(\delta a)' = \sqrt{4(\delta x)^2 + \left[\frac{\delta T_{max}}{\sqrt{2e}\sqrt{z'(\beta)}\exp(-z'(\beta))\left(z'(\beta) - \frac{1}{2}\right)}\right]^2 + \left[\frac{1}{z'(\beta)}\frac{dz'(\beta)}{d\beta}\beta\right]^2 \left(1 + \frac{1}{\beta^2}\right)(\delta T_{max})^2}, \quad (2)$$

$$(\delta c\rho)' = \sqrt{(\delta Q_n)^2 + (\delta x)^2 + (\delta T_{max})^2 \left[\frac{1}{\beta^2} + (1+\beta^2)\left(\frac{dz'}{d\beta}\right)^2 \left(\frac{1}{4(z')^2} + 1\right)\right]}. \quad (3)$$

4. Разработка алгоритма и программы для вычисления погрешностей измерений по полученным соотношениям и выполнение расчетов в целях выбора оптимальных режимных параметров рассматриваемого метода и конструкционного размера измерительного устройства. Примеры таких результатов работы приведены в [1 – 3, 6, 11 – 15,

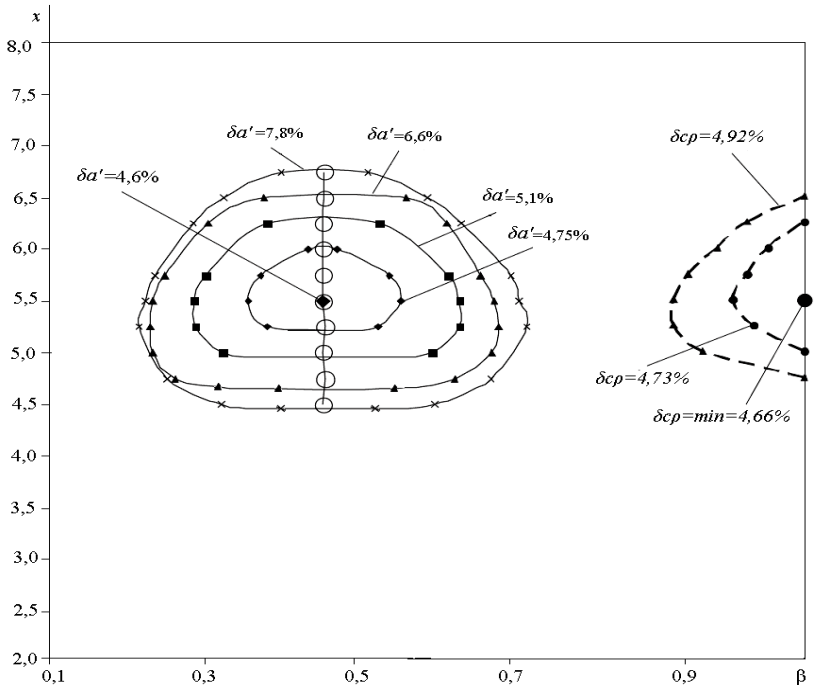


Рис. 1. Линии равных уровней погрешностей измерения температуропроводности *a* и объемной теплоемкости *c*ρ (при использовании метода плоского «мгновенного» источника тепла) [14, 15]

18, 19]. В [14, 15] приведены результаты расчета линий равных уровней относительных погрешностей измерений методом плоского «мгновенного» источника теплоты (рис. 1).

Из приведенных на рис. 1 результатов следует, что минимальное значение погрешности δ*a* имеет место при $\beta = 0{,}495 \approx 0{,}5$, $x = 5{,}5$ мм, а приемлемые результаты измерений получаются при $0{,}3 \le \beta \le 0{,}7$ и 4,5 мм $\le x \le 7$ мм. Минимальные значения погрешностей δ*c*ρ достигаются при $\beta = 1$ и $x = 5{,}5$ мм, а допустимые значения погрешности δ*c*ρ получаются при $0{,}9 \le \beta \le 1$, 5 мм $\le x \le 6{,}5$ мм.

5. После получения теоретического решения задачи минимизации погрешностей следует разработать конструкции и изготовить измерительное устройство при рациональном значении основного конструкционного размера. Примеры выполнения таких работ приведены в [1 – 3, 6, 13, 15, 18, 19].

6. После изготовления экспериментальной установки и подключения ее к компьютеру следует провести серию измерений на материалах с известными значениями теплофизических или массопереносных свойств и значения погрешности измерений [1 – 3, 6, 15]. При выявлении существенных систематических погрешностей измерений следует рекомендовать разработку методики введения поправок в результаты измерений, пример которой приведен в статье [20].

7. После завершения работ по отладке разрабатываемого метода и измерительного устройства можно приступить к осуществлению экспериментов по исследованию теплофизических свойств и характеристик новых материалов.

* * *

Накопленный опыт свидетельствует о результативности и эффективности изложенных выше подходов и этапов выполнения работ по совершенствованию методов измерений и экспериментальных установок.

Список литературы

1. Пономарев, С. В. Теоретические и практические основы теплофизических измерений; под ред. С. В. Пономарева / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, А. Г. Дивин, В. А. Вертоградский, А. А. Чуриков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 408 с.

2. Пономарев, С. В. Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений: монография. В 2 кн. / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, А. Г. Дивин. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2006. – Кн. 1. – 204 с.

3. Пономарев, С. В. Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений: монография. В 2 кн. / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, А. Г. Дивин. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2006. – Кн. 2. – 216 с.

4. Пономарев, С. В. Выполнение процесса проектирования и разработки по требованиям ГОСТ Р ИСО 9001–2015 при модернизации и реинжиниринге технических систем / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко // Вестник Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 1. – С. 77 – 84.

5. Мищенко, С. В. Разработка автоматизированной системы научных исследований и проектирования технологических процессов тепломассопереноса / С. В. Мищенко, С. В. Пономарев // Теор. основы хим. технол. – 1994. – Т. 8, № 6. – С. 547 – 555.

6. Пономарев, С. В. Методы и устройства для измерения эффективных теплофизических характеристик потоков технологических жидкостей / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 1997. – 248 с.

7. Патент РФ № 2601234. Способ измерения теплофизических свойств твердых материалов методом плоского импульсного источника тепла / Пономарев С. В., Буланова В. О., Дивин А. Г., Буланов Е. В., Шишкина Г. В.; опубл. 27.10.2016, Бюл. № 30.

8. Optimization of Measurements of the Thermophysical Parameters of Heat-Insulating Materials by Means of a Linear Pulse Heat Source / S. V. Ponomarev, V. O. Bulanova, A. G. Divin, E. V. Bulanov // Measurement Techniques. – September. – 2017. – V. 60, Is. 6. – P. 583 – 588.

9. Патент РФ № 2436066. МПК G01N 13/00/ – № 2010130744/28. Способ измерения коэффициента диффузии влаги в капиллярно-пористых листовых материалах / Пономарев С. В., Мочалин С. Н., Шишкина Г. В.; заявл. 21.07.2010; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34.

10. Патент № 2613194. МПК G01N 25/18. Способ измерения теплофизических свойств анизотропных материалов методом линейного импульсного источника теплоты / Пономарев С. В., Буланова В. О., Дивин А. Г., Буланов Е. В., Шишкина Г. В.; опубл. 15.03.2017, Бюл. № 8.

11. Мочалин, С. Н. Выбор оптимальных условий измерения характеристик влагопереноса в тонколистовых капиллярно-пористых материалах методом «мгновенного» источника влаги / С. Н. Мочалин, И. Н. Исаева, С. В. Пономарев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 16, № 3. – С. 533 – 545.

12. Пономарев, С. В. О выборе оптимальных условий измерения теплофизических свойств веществ методом мгновенного источника тепла / С. В. Пономарев, И. Н Исаева, С. Н. Мочалин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2010. – Т. 76, № 5. – С. 32 – 36.

13. Мочалин, С. Н. Измерение характеристик влагопереноса тонколистовых капиллярно-пористых материалов методом «мгновенного» источника влаги : монография / С. Н. Мочалин, С. В. Пономарев. – М.: Изд-во «Спектр», 2010. – 100 с.

14. Гуров, А. В. Выбор оптимальных условий измерения теплофизических свойств веществ методом плоского мгновенного источника тепла / А. В. Гуров, Г. А. Соседов, С. В. Пономарев // Измерительная техника. – 2012. – № 10. – С. 47 – 49.

15. Гуров, А. В. Измерение теплофизических свойств теплоизоляционных материалов методом плоского «мгновенного» источника теплоты : монография / А. В. Гуров, С. В. Пономарев ; под научн. ред. С. В. Пономарева. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 100 с.

16. Мочалин, С. Н. Анализ источников погрешностей измерений характеристик переноса влаги в тонколистовых капиллярно-пористых материалах / С. Н. Мочалин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2010. – № 79(30). – С. 329 – 337.

17. Гуров, А. В. Анализ источников погрешностей измерения теплофизических свойств твердых теплоизоляционных материалов методом плоского «мгновенного» источника теплоты / А. В. Гуров, С. В. Пономарев // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 1(45). – С. 273 – 282.

18. Пономарев, С. В. О выборе оптимальных режимных параметров процесса измерения коэффициента температуропроводности теплоизоляционных материалов методом регулярного режима третьего рода / С. В. Пономарев, Д. А. Дивина, А. С. Щекочихин // Измерительная техника. – 2012. – № 1. – С. 47 – 49.

19. Гуров, А. В. Экспериментальная установка для измерения теплофизических свойств теплоизоляционных материалов методом плоского «мгновенного» источника теплоты / А. В. Гуров // Метрология. – 2013. – № 4. – С. 16 – 24.

20. Рекомендации по разработке методики введения поправок на систематические погрешности измерения теплофизических свойств веществ / С. В. Пономарев, А. Г. Дивин, П. В. Балабанов, А. В. Гуров, Д. А. Дивина, А. Е. Постникова // Метрология. – 2013. – № 10. – С. 38 – 47.

21. Пономарев, Сергей. Обзор экспериментальных и численно-аналитических методов определения теплофизических характеристик гетерогенных материалов растительного происхождения / Сергей Пономарев, Александр Дивин, Владислав Сычев; под ред. д-ра техн. наук, проф. С. В. Пономарева. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2017. – 80 с.

THE APPLICATION OF MATHEMATICAL METHODS OF METROLOGY AND OPTIMIZATION AS QUALITY MANAGEMENT TOOLS FOR THERMOPHYSICAL METHODS AND DEVICES IMPROVEMENT

S. V. Ponomarev, S. V. Mishchenko, A. G. Divin, S. S. S. Al-Busaidi,
Tambov State Technical University, *Tambov*

Abstract. The main stages of application of mathematical methods in the design and modernization of thermophysical devices are considered.

Keywords: measurements, errors, causes, analysis, modeling of errors, method, device, improvement, debugging, operation

УДК 60

ПРОВЕДЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПЕРЕД ВЫПОЛНЕНИЕМ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА

Э. В. Роганова, С. М. Гущин, Т. А. Глебова,
В. Н. Батова, Е. А. Асмолова
ФГБОУ ВО ПГУАС, Пенза
ФГБОУ ВО ПензГТУ, Пенза
roganelka@mail.ru; *batova.v.n@yandex.ru*

Аннотация. Статья написана на основании опыта членов нескольких инициативных групп, успешно создавших разные предприятии с основным видом деятельности 73.10 «Научные исследования и разработки в области естественных и технических наук», для выполнения инновационных проектов, в разных отраслях народного хозяйства.

Ключевые слова: инновационный проект, крупный инвестор, спонсор, этапы развития инновационного проекта.

Достаточно часто в СМИ пишут о малых предприятиях, выполняющих инновационные проекты [1]. Их цель – разработать и освоить производство нового товара, изделия, технологии или услуги с использованием результатов собственных научно-технических и технологических исследований, находящихся на начальной стадии развития и имеющих значительный потенциал коммерциализации [2].

ООО «Видео3» с 2008 г. успешно проводило работы в области создания безочковых 3D-индикаторов для тренажерных комплексов (погрузить человека в визуально наблюдаемую 3D-модель окружающего мира с возможность профессионально тренировать глазомер) [3] и выполняло роль неформального холдинга, поддерживающего ряд аналогичных предприятий, выполняющих инновационные проекты в биотехнологии, в энергетике, в области переработки отходов [4]. Успешный опыт создания экспериментальных образцов изделий, подтвердивших разработанные ранее гипотезы создания нового продукта, который может быть отнесен к инновационному, а также опыт общения с зарубежными коллегами, выполняющих инновационные проекты, позволяет сделать ряд выводов, что помогает и что мешает ускорить вывод на рынок новых инновационных продуктов.

Большинство малых предприятий, взявшихся за реализацию инновационного проекта, созданы учеными и преподавателями вузов. Преподаватели – специалисты в одной области науки, но они не знают особенностей функционирования производства. Им приходится осваивать новые компетенции.

Удачной помощью являются специфические гранты от «Фонда содействия инновациям» на этапе Старт Ап [5]. Как и во всем мире, на этом этапе государство берет на себя частичное финансирование наиболее рискованного этапа в развитии инновационного проекта. Практически во всех областях РФ инноваторы могут рассчитывать на помощь областных администраций в виде льготной аренды офисных площадей в бизнес-инкубаторах и технопарках, где еще есть возможность пройти обучающие курсы и изготовить по чертежам механические узлы за минимальную плату. На этом реальная помощь заканчивается. Сумма получаемых по грантам и различных субсидий, как правило, не превышает 20% от средств, необходимых для реализации задуманного проекта. Оставшиеся 80% – это средства, вырученные за продажу попутной продукции и услуг.

Эйфория, характерная для сотрудников таких предприятий, после первых успехов на производстве, что характерно для этапа Старт Ап, вскоре начинает утихать из-за ранее плохо представляемых проблем.

Первая – проблема выхода на рынок с инновационным продуктом. Чтобы в РФ такой продукт приносил прибыль – надо организовать его продажу от Калининграда до Владивостока, при наличии в штате от 3 до 19 сотрудников – это сделать невозможно. В Израиле эта проблема решается за счет совместной организации этапа Старт Ап с Крупными, брендовыми концернами, которые согласны серьезно финансировать разработку и организовать серийный выпуск новой продукции. У нас такие концерны это «Автомат Калашникова» и «Газпром», но они не будут работать с фирмами, направленными на решение не их задач. В итоге, сейчас не известно, как быть фирмам, начавшим выпускать инновационный (а поэтому почти не знакомый для рынка продукт).

Вторая – кадры. Высшая школа находится в стадии перманентной реорганизации, с постоянным снижением качеств подготовки выпускаемых специалистов.

Третья проблема – проверки. Как только Президент РФ говорит, «престаньте кошмарить бизнес» и надо уменьшить прессинг проверок, тут же сотрудники контролирующих организаций (а вузы РФ в последнее время выпустили громадный контингент специалистов, которые только и могут работать в контролирующих организациях), не желая попасть под сокращение, проявляют свою активность.

Четвертая проблема – практически все руководители инновационных фирм, если они еще преподают в вузах, вынуждены серьезно нарушать законодательство. Они не имеют права ездить в командировки, даже если у них в это время нет занятий. Любая командировка – ПРОТИВОЗАКОННА, если только преподаватель не командирован от вуза. Уже есть пострадавшие по этой статье.

Пятая проблема – нескончаемая чехарда с изменением правил подготовки бухгалтерской отчетности. Фактически, это еще одна скрытая форма налога. Изменяют новые правила отчетности и проводят платные обучающие семинары. Для крупного предприятия эти семинары незначительно сказываются на финансовой деятельности, на малом предприятии – это невозможные расходы. Далее все зависит от случая, но практически всегда такие изменения негативны для финансовой деятельности малого предприятия.

Список литературы

1. Amirova, O. A. “Regional economic development resource management: new approaches” in Economics & Management Research Journal of Eurasia / O. A. Amirova, , I. I. Prosvirina. – 2015, N 1 (5). – P. 3 – 12.

2. “Problems of state regulation of innovation policy in the Russian Federation and foreign countries“ in Journal of Advanced Research in Law and Economics / A. J. Pavlov, V. N. Batova, N. N. Kovalyova, A. V. Kolesnikov, A. Y. Sokolov, Y. V. Soboleva. – 2015. – T. 6, N 4. – C. 802 – 821.

3. “Problem of virtual space modelling in aviation simulators” in Life Science Journal / V. R. Roganov, E. A. Asmolova, A. N. Seredkin, M. V. Chetvergova, N. B. Andreeva, V. O. Filippenko. – 2014. – T. 11, N 12. – P. 1097.

4. Один из вариантов реализации инновационных проектов в условиях современной России / В. Р. Роганов, Э. В. Роганова, Е. А. Асмолова, В. О. Филиппенко // Вестник ЮРГТУ. – Серия: Социально-экономические науки. – 2014. – № 5. – С. 58 – 62.

5. URL: https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=217747 (дата обращения: 14.02.2018).

CARRYING OUT OF ACTIVITIES BEFORE THE IMPLEMENTATION OF THE INNOVATIVE PROJECT

E. V. Roganova, S. M. Gushchin, T. A. Glebova,
V. N. Batova, E. A. Asmolova
FGBOU PGUAS, *Penza*
FGBOU PenzSTU, *Penza*

Abstract. The article is written on the basis of the experience of members of several initiative groups that successfully created different enterprises with the main activity 73.10 “Research and development in the field of natural and technical sciences” for the implementation of innovation projects in various sectors of the national economy.

Keywords: innovation project, Large investor, Sponsor, stages of innovative project development.

References

1. Amirova, O. A. “Regional economic development resource management: new approaches” in Economics & Management Research Journal of Eurasia / O. A. Amirova, , I. I. Prosvirina. – 2015, N 1 (5). – P. 3 – 12.

2. “Problems of state regulation of innovation policy in the Russian Federation and foreign countries“ in Journal of Advanced Research in Law and Economics / A. J. Pavlov, V. N. Batova, N. N. Kovalyova, A. V. Kolesnikov, A. Y. Sokolov, Y. V. Soboleva. – 2015. – T. 6, N 4. – C. 802 – 821.

3. “Problem of virtual space modelling in aviation simulators” in Life Science Journal / V. R. Roganov, E. A. Asmolova, A. N. Seredkin, M. V. Chetvergova, N. B. Andreeva, V. O. Filippenko. – 2014. – T. 11, N 12. – P. 1097.

4. One of the variants of realization of innovative projects in the conditions of modern Russia / V. R. Roganov, E. V. Roganova, E. A. Asmolova, V. O. Filippenko // Vestnik YURGTU. – Series: Socio-economic sciences. – 2014. – № 5. – P. 58 – 62.

5. https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=217747 (date of circulation on February 14, 2018).

УДК 678.058:539.4

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРОФИЛЬНОГО ЭКСТРУДАТА ИЗ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

М. В. Соколов
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет, Тамбов

Аннотация. Разработано устройство и проведены экспериментальные исследования по оценке показателей качества профильного экструдата при различных значениях суммарной величины сдвига и скорчинга в нем. Получены значения технологических параметров процесса экструзии резиновых смесей и конструктивных параметров шнековых машин при наилучших физико-механических показателях качества и наименьших изменениях поперечного сечения экструдата.

Ключевые слова: изменение размеров экструдата, резиновая смесь, степень подвулканизации и пластикации, суммарная величина сдвига, полезная мощность, шнековая машина.

Для успешного конструирования формующих каналов экструзионных головок и разработки новых технологических процессов для переработки резиновых смесей необходимо для заданной производительности оборудования найти рациональные режимные и конструктивные параметры процесса и оборудования при минимальных затратах энергии и заданных показателях качества, таких как: степень пластикации (суммарная величина сдвига), степень подвулканизации (скорчинг), которые косвенно связаны с физико-механическими показателями длинномерных профильных резинотехнических изделий [1].

При определении суммарной величины сдвига γ учитывалось влияние в перерабатываемом материале подвулканизации, которая определяется по критерию Бейли [2].

На рисунке 1 показано устройство, представляющее собой экструзионную головку, модернизированную для исследования продавливания резиновых смесей через формующие каналы различной геометрии. Головка оснащена системой термостатирования, на корпусе которой расположен датчик давления, представляющий собой индикатор часового типа, установленный в обойму с компенсационной пружиной, перемещение которой имеет тарировочную связь с давлением

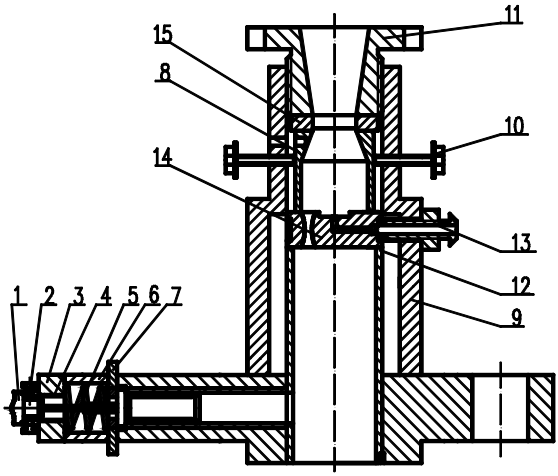


Рис. 1. Устройство для исследования показателей качества профильного экструдата из резиновых смесей:
1 – индикатор часового типа; *2*, *11* – винты крепежные; *3* – планка; *4* – штуцер крепежный; *5* – пружина; *6* – гильза упорная; *8* – кольцо упорное; *9* – мундштук; *10* – корпус; *12* – втулка; *13* – цилиндр переходной; *14* – штуцер воздушный; *15* – дорнодержатель

в перерабатываемом материале перед входом в головку. Для определения температуры выхода смеси в головке предусмотрено отверстие для игольчатой термопары, также отверстия для термопары предусмотрены в сменных мундштуках.

Для оценки показателей качества получаемого экструдата были проведены исследования свойств резиновой смеси, а именно, предел прочности образцов на разрыв, их относительное остаточное удлинение, изменение размеров поперечного сечения и скорчинг до загрузки в материальный цилиндр шнековой машины и после проведения процесса профилирования экструдата [3, 4]. В процессе эксперимента назначали такие расчетные режимы экструзии, чтобы в исследуемом материале возникало и не возникало подвулканизации, т.е. значение критерия Бейли не превышало определенной, наперед заданной величины (например, для резиновой смеси НО-68 подвулканизация составляет $JB \le 0{,}5\%$).

Предварительно для известных режимных и конструктивных параметров шнека и цилиндра ($\omega = 6{,}28$ с$^{-1}$, $\varphi = 17^{o}$, $h = 0{,}003$ м, $D = 0{,}032$ м, $L = 0{,}325$ м, $e = 0{,}0035$, $e = 0{,}001$ м) по математической модели процесса экструзии [1] рассчитывается температурное поле по

1. Режимные параметры процесса и показатели качества экструдата

$Q \cdot 10^{-5}$, $м^3/с$	ΔP, МПа	$T_{см.вых}$, °С	JB, %	γ	$\delta_{охл}$, %	δ, %	ω^*, $с^{-1}$	N^*, кВт
0,1	5	120	6	3450	3	5	1,88	0,10
0,2	3	115	3	3450	3	5	3,12	0,15
0,4	7	110	1	3450	5	7	3,75	0,41
0,5	10	95	0,5	3450	7	10	5,02	0,52
0,6	12	90	0,5	3450	10	15	5,65	0,61
0,7	15	80	0,5	3450	15	20	6,91	0,82
0,8	17	80	0,5	3450	15	20	7,52	0,94

длине шнека и формующих каналов экструзионной головки (температурный режим: $T_{см.вх} = 393$ К, $T_ц = 353$ К).

В качестве варьируемого параметра для заданного наружного диаметра выходного канала головки (8 мм) принята угловая скорость шнека ω (табл. 1).

В процессе эксперимента отбирались пробы экструдата и затем снималась кривая его подвулканизации. Далее образцы экструдата вулканизовались при заданном режиме для резиновой смеси НО-68-1 и измерялись: соответственно, предел прочности образцов на разрыв, относительное остаточное удлинение до ($\sigma_{рэ}$, $\delta_{ост.э}$) и после ($\sigma_р$, $\delta_{ост}$, $\delta_{ост.э}$) процесса экструзии, значения которых находились в удовлетворительном диапазоне, а также измерялось относительное изменение диаметра профильного экструдата до (δ) и после ($\delta_{охл}$) охлаждения.

В результате анализа полученных данных можно сделать вывод о влиянии наличия подвулканизации на относительное изменение диаметра профильного экструдата. Причем при небольшом скорчинге, малой полезной мощности и производительности получен профильный экструдат с минимальным относительным изменением его диаметра. Данный эффект можно использовать при модернизации ранее спроектированной энергосберегающей технологии и оборудования для производства длинномерных резинотехнических изделий с заданными показателями их качества [5].

Список литературы

1. Соколов, М. В. Математическое моделирование процесса экструзии резиновых смесей с учетом подвулканизации и степени пластикации профилированного экструдата / М. В. Соколов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 1. – С. 440 – 451.
2. Бекин, Н. Г. Расчет технологических параметров и оборудования для переработки резиновых смесей в изделия / Н. Г. Бекин. – Л.: Химия, 1987. – 272 с.
3. Sokolov, M. V. Determination of total shear during processing of rubber stock // Chemical and Petroleum Engineering / M. V. Sokolov. – 42 (2006), N. 7-8. – P. 413 – 416.
4. Соколов, М. В. Расчет шнековых машин для резиновых смесей при заданном качестве экструдата / М. В. Соколов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2006. – Т. 12, № 4А. – С. 979 – 986.
5. Соколов, М. В. Энергосберегающая технология и оборудование для производства длинномерных резинотехнических изделий заданного качества / М. В. Соколов // Химическая технология. – 2008. – Т. 9, № 10. – С. 496 – 499.

DEVICE FOR PREDICTING THE QUALITY OF A PROFILE EXTRUDATE FROM RUBBER COMPOUNDS

M. V. Sokolov

Tambov State Technical University, *Tambov*

Abstract. The experimental researches on an evaluation of resizing of the cross-section extrudate for want of various significances of total magnitude of a shift are conducted. The significances of technological parameters of process of extrude of rubber mixtures and design data screw of machines for want of best phisical-mechanical parameters of quality and least modifications of the cross-section extrudate are obtained.

Keywords: changing the dimensions of the extrudate, rubber compound, degree of scorch and plasticization, total amount of shear, useful power, auger machine.

С е к ц и я

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ

УДК 535. 3

СПОСОБ ПРОСВЕТЛЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СО СПИРАЛЬНЫМ ФАЗОВЫМ ФРОНТОМ

С. В. Артыщенко, Ю. Г. Пастернак
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж
art.stepan@mail.ru

Аннотация. В статье показано, что перспективным способом уменьшения потерь мощности оптического излучения, передаваемого через атмосферу, является использование пространственно-неоднородной электромагнитной волны оптического диапазона с фазовым фронтом в виде плоской спирали.

Ключевые слова: просветление атмосферного оптического канала.

Одной из важных проблем, существенно ограничивающей возможности систем лазерной атмосферной связи, мониторинга, а также лазерного оружия, являются потери мощности лазерного излучения в аэрозолях атмосферы в результате поглощения и рассеяния оптических волн частицами среды. Для густых туманов и облаков затухание может составлять до нескольких сотен дБ/км (см. работу [1] и цитированную в ней литературу).

В частности, сильное затухание лазерного излучения в туманах и облаках существенно затрудняет связь между наземной аппаратурой и спутниками.

Тем не менее привлекательность использования лазерного излучения в системах атмосферной связи и мониторинга и в средствах лазерного оружия заставляет искать новые способы формирования просветленных каналов передачи оптической энергии по атмосферному каналу.

Для существенного снижения затрат энергии на просветление атмосферного оптического канала предлагается следующий способ [1]. Для эффективной передачи энергии лазерного излучения через атмосферу создается завихренное оптическое поле с синфазной поверхностью в виде плоской спирали, воздействующее на микрочастицы неоднородной среды и создающее в ней просветленный канал, в котором концентрация рассеивателей существенно снижена. Внутри образовавшегося просветленного канала, на той же, или отличающейся длине волны, формируется лазерное излучение с плоским фазовым фронтом, энергию которого необходимо передать через неоднородную среду.

Предлагаемый в работе авторов [1] способ просветления атмосферного оптического канала, основанный на использовании завихренного лазерного излучения, поясняется на рисунке, приведенном в [1].

Способ реализуется следующим образом. Излучателем формируется завихренное электромагнитное поле оптического диапазона, которое излучается в сторону приемника излучения и создает в неоднородной среде распространения канал просветления. Излучателем формируется излучение оптического диапазона с плоским фазовым фронтом, которое проходит внутри образованного канала просветления в неоднородной среде и достигает приемника излучения с минимальными потерями. В качестве приемника излучения может быть объект, подлежащий уничтожению интенсивным лазерным излучением, формируемым излучателем.

Наиболее существенными силами взаимодействия оптического излучения с микрочастицами (воды, пыли, дыма и т.д.) являются следующие две силы. Первая называется силой давления света Кеплера (сила рассеяния), она пропорциональна рассеивающей поверхности частицы и интенсивности света, ее направление совпадает с вектором Пойнтинга падающей оптической волны. Вторая называется градиентной силой Лоренца, действующая на индуцированный диполь в градиенте интенсивности поля оптической волны. Объекты с показателем преломления выше, чем окружающая среда, притягиваются к областям с высокой интенсивностью света.

Приведенные в [1] и цитируемой там литературе данные свидетельствуют о том, что использование завихренного лазерного излучения является эффективным средством для манипулирования микрочастицами, находящимися, как в воздухе, так и в вязкой жидкости.

В настоящей работе предлагается использовать завихренное лазерное излучение для просветления атмосферного канала передачи оптической энергии [1]. Преимуществом предлагаемого способа [1]

является значительное снижение затрат энергии на формирование канала с существенно уменьшенной концентрацией частиц аэрозоля и водного пара, по сравнению с традиционно используемыми способами испарения аэрозоля с помощью мощного лазерного излучения, за счет того, что в предлагаемом способе частицы аэрозоля не испаряются, а смещаются в радиальном направлении, освобождая трассу распространения основного лазерного излучения.

Список литературы

1. Формирование прозрачного оптического канала атмосферы путем использования вихревого лазерного пучка / С. В. Артыщенко, Ю. Г. Пастернак, К. Д. Проскурин, С. М. Федоров // Микроволновые и оптические технологии письма. – 2017. – В. 59. – Р. 2634 – 2638.

WAY OF ENLIGHTENMENT THE ATMOSPHERIC OPTICAL CHANNEL BY MEANS OF LASER RADIATION WITH A SPIRAL PHASE FRONT

S. V. Artyschenko, Yu. G. Pasternak
Military Educational Research Centre of Air Force "*Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin*", *Voronezh*
art.stepan@mail.ru

Abstract. The article shows that a perspective way to reduce the power loss of optical radiation transmitted trough the atmosphere is to use a spatially inhomogeneous electromagnetic wave of optical band with a spiral phase front.

Keywords: enlightenment of the atmospheric optical channel.

References

1. Forming a transparent atmospheric optical channel by use of vortical laser beam / S. V. Artyschenko, Yu. G. Pasternak, D. K. Proskurin, S. M. Fedorov // Micrwave and Optical Technology Letters. – 2017. – V. 59. – P. 2634 – 2638.

УДК 681.335

АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДИНАМИКИ СКОРОСТИ ОСЕДАНИЯ ЭРИТРОЦИТОВ

Д. В. Болдырев, Е. И. Глинкин
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
d.boldyreff2012@gmail.com; glinkinei@rambler.ru

Аннотация. Проведен анализ эффективности динамики режимов калибровки для организации автоматического контроля скорости оседания эритроцитов.

Ключевые слова: скорость оседания эритроцитов (СОЭ), аналитический контроль, статистический анализ, режимы калибровки.

Величина СОЭ является неспецифическим показателем, широко используемым в клинической практике для оценки наличия воспалительных процессов в организме человека при различных заболеваниях и позволяющим следить за ходом заболевания и его лечения [1].

Известные и общепринятые способы определения скорости оседания эритроцитов – метод Панченкова и метод Вестергрена – основаны на статистическом анализе, т.е. зависимости исследуемой величины от множества ненормированных переменных, которые принимают за информативные параметры, не отражающих физику процесса и их тождественность множеству нелинейных переменных, что приводит к низкой точности измерения [2].

Принцип разработанных способов определения динамики изменения скорости оседания эритроцитов (СОЭ) заключается в использовании аналитического контроля, т.е. гибкой калибровочной характеристики – высоты слоя плазмы, тождественной эквиваленту натурного эксперимента за счет оптимизации двух предельных (информативных) параметров H и T по нормируемым мерам границ адаптивного диапазона – двух кратных моментов времени. Аналитические методы автоматического контроля динамики СОЭ развиваются за счет повышения точности в различных режимах калибровки предельных параметров.

Способ определения динамики изменения скорости оседания эритроцитов – Патент РФ № 2516914 заключается в том, что измеряют высоту слоя плазмы по импульсной динамической характеристике, амплитуду h_1, h_2 которой фиксируют в два кратных момента времени

t_1, $t_2 = 2t_1$, по которым регистрируют максимальную величину H оседания эритроцитов и постоянную времени T, а также предельную скорость V_0, как их отношение, по которым определяют действительную характеристику скорости $V(t)$ оседания эритроцитов.

Данный способ имеет высокую метрологическую эффективность – в отличие от известных решений статистического анализа, способ повышает точность измерения скорости оседания эритроцитов на несколько порядков.

Недостатком данного способа является то, что он рассчитан на случай, когда оба информативных параметра – максимальная величина оседания эритроцитов и постоянная времени известны, но, как правило, на практике в большинстве случаев один из них или оба информативных параметра неизвестны, что не позволяет автоматизировать контроль СОЭ.

Более совершенным является способ определения динамики изменения скорости оседания эритроцитов – Патент РФ № 2655523, отличающийся тем, что определяют максимальную величину оседания эритроцитов по калибровочной характеристике. Калибровку проводят априори для двух измеренных h_1, h_2 и известных $h_{э1}$, $h_{э2}$ значений высоты слоя плазмы в два кратных момента времени t_1,$t_2 = 2t_1$. Калибровочной характеристикой H_i служит функция максимальной величины оседания эритроцитов, компенсирующая неопределенность постоянной времени, выбранной произвольно T^*, и связывающая эталонную $h_{эi}$ и измеренную h_i характеристики высоты слоя плазмы за счет нормирования измеренных значений известными. По калибровочной характеристике H_i находят действительные значения постоянной времени T и максимальной величины оседания эритроцитов H, по которым последовательно строят калибровочную характеристику H_i и действительную характеристику скорости оседания эритроцитов.

При использовании данного способа необходимо знать один информативный параметр – максимальную величину оседания эритроцитов H, что приводит к автоматизации аналитического контроля и повышению метрологической эффективности на порядок, по сравнению с прототипом – Патент РФ № 2516914.

Для определения скорости оседания эритроцитов при условии знания только информативного параметра T – постоянной времени разработан способ определения динамики изменения скорости оседания эритроцитов – Патент РФ № 2660710, в котором определяют постоянную времени T по калибровочной характеристике, калибровку проводят априори для двух измеренных h_1, h_2 и известных $h_{э1}$, $h_{э2}$ значений

высоты слоя плазмы в два кратных момента времени t_1, $t_2 = 2t_1$. Калибровочной характеристикой T_i служит функция постоянной времени процесса, компенсирующая неопределенность максимальной величины оседания эритроцитов, выбранной произвольно H^*, и связывающая эталонную $h_{эi}$ и измеренную h_i характеристики высоты слоя плазмы за счет нормирования измеренных значений известными. По калибровочной характеристике T_i находят действительные значения постоянной времени T и максимальной величины оседания эритроцитов H, по которым последовательно строят калибровочную характеристику T_i и действительную характеристику скорости оседания эритроцитов.

Данный способ тождественен по метрологической эффективности другим режимам калибровки и при интеграции с ними повышает определение динамики изменения скорости оседания эритроцитов до автоматического контроля.

Таким образом, рассмотрено развитие способов автоматизации динамики СОЭ, выявлены режимы калибровки, имеющие наибольшую метрологическую эффективность, для их интеграции в автоматический контроль.

Список литературы

1. Цыркунов, В. М. Инфекционные болезни и профилактика внутрибольничных инфекций / В. М. Цыркунов. – М.: Асар, 2012. – 848 с.

2. Глинкин, Е. И. Закономерности статистического анализа и аналитического контроля [Текст] / Е. И. Глинкин, Е. В. Власова // Вестник ТГУ. – Тамбов: ТГУ, 2016. – Т. 21. – С. 334 – 342.

AUTOMATION OF ANALYTICAL CONTROL OF DYNAMICS ERYTHROCYTE SEDIMENTATION RATE

D. V. Boldyrev, E. I. Glinkin
Tambov State Technical University, *Tambov*

Abstract. The analysis of the effectiveness of the dynamics of calibration modes for the organization of automatic control of erythrocyte sedimentation rate.

Keywords: erythrocyte sedimentation rate (ESR), analytical control, statistical analysis, calibration modes.

УДК 004.94

ВЫЯВЛЕНИЕ СКРЫТЫХ ОБЪЕКТОВ НА ИНФРАКРАСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Ю. Ю. Громов, В. Е. Дидрих, О. Г. Иванова
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов

Аннотация. Разработан подход к исследованию теплообменных процессов, основанный на постановке и решении нового класса обратных задач теплопроводности, существенным отличием которого является использование качественной информации. Решение коэффициентной обратной задачи теплопроводности по данным инфракрасных изображений позволяет выявлять объекты по схожим теплофизическим параметрам, а сегментация изображения тепловой томограммы – выделять объекты, невидимые на исходных изображениях.

Ключевые слова: теплообменные процессы, задачи теплопроводности, инфракрасные изображения, беспилотные летательные аппараты.

В последнее время в теории и практике исследования теплообменных процессов, в тепловом проектировании и моделировании тепловых режимов технических систем интенсивно развивается направление исследований, основывающееся на постановке и решении нового класса обратных задач теплопроводности. Данные задачи отличаются от известных ранее использованием качественной информации, для формализации которой применяются нечеткие меры, меры возможности и т.д. Это приводит к необходимости развития существующих и разработке новых методов решения не только непосредственно обратных задач теплопроводности, но и методов обработки информации, полученной в результате их решения. Важное значение эти методы приобретают при экспериментальном изучении нестационарных тепловых процессов с использованием тепловизионных приборов, работающих в инфракрасном диапазоне с целью дистанционного определения теплофизических свойств материалов, принадлежащих к различным классам и являющимися как изотропными, так и анизотропными.

При дистанционном определении теплофизических свойств материалов особое значение приобретает процесс построения пространственно-временного распределения радиационных температур (кубоида ИК-изображений). Именно для целей построения и анализа ИК-

изображений важны задачи определения теплофизических свойств материалов, решения которых позволяют классифицировать объекты, подлежащие идентификации.

Рассмотрим процесс нестационарного теплообмена в прямоугольной области анизотропного в отношении теплопроводимости материала. Если в условиях однозначности решения в качестве граничных условий рассматривать условия первого рода, то математическая модель этого процесса имеет вид следующей краевой задачи [1 – 3]:

$$C(T)\frac{\partial T}{\partial \tau}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_{11}(T)\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_{22}(T)\frac{\partial T}{\partial y}\right)+2\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_{12}(T)\frac{\partial T}{\partial y}\right)+S(x,y,\tau), \tag{1}$$

$$x\in[0,\,a];\ y\in[0,\,b];\ \tau\in[0,\,\tau_m];$$

$$T(x,y,0)=\varphi_0(x,\,y), \tag{2}$$

$$T(x_\Gamma,y_\Gamma,\tau)=\varphi_\Gamma(x_\Gamma,\,y_\Gamma,\,\tau),\quad x_\Gamma=\{0;\,a\},\quad y_\Gamma=\{0;\,b\},\quad \tau\in[0,\,\tau_m], \tag{3}$$

где $\varphi_0(x,\,y)$ и $\varphi_\Gamma(x_\Gamma,\,y_\Gamma,\,\tau)$ – известные функции.

В работе рассмотрено решение задачи восстановления функции $\lambda_{11}(T)$, $\lambda_{22}(T)$, $\lambda_{12}(T)$ и $C(T)$ на основании информации о мгновенных значениях температур в определенных n точках прямоугольной области $G = [0; a]\times[0; b]$ ($T(x_i, y_i, \tau) = f(x_i, y_i, \tau)$, $i = 1, 2, \ldots, n$) и известных функциях $S(x, y, \tau)$, $\varphi_0(x, y)$, $\varphi_\Gamma(x_\Gamma, y_\Gamma, \tau)$.

Подлежащие определению функции $\lambda_{11}(T)$, $\lambda_{22}(T)$, $\lambda_{12}(T)$ и $C(T)$ будем искать в параметризованном виде. Для последовательного уточнения решения будем определять поправки к векторам параметров интерполяционных полиномов из условия убывания функционала J, который имеет вид:

$$J=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\int_0^{\tau_m}(T(x_i,y_i,\tau)-f(x_i,y_i,\tau))^2\,d\tau. \tag{4}$$

Отметим, что решение обратной задачи с функционалом (4) не обладает свойством единственности. Выход из этой ситуации возможен в том случае, если использовать априорную информацию о величинах, подлежащих определению, в частности, о качественном характере их изменения на интересующем температурном интервале, которые могут быть формализованы на основе применения методов теории

нечетких множеств в частности нечеткими числами *LR*-типа или нечеткими функциями.

Рассматриваемую обратную задачу теплопроводности можно решить существующими пакетами термодинамического моделирования, основанными на методах конечных разностей, элементов, объемов, в частности COMSOL Multiphysics, ThermoAnalitics. Наиболее близким к поставленной задаче пакетом математического моделирования, базирующимся на теоретических основах радиационной теплофизики, является программа RadThermIR [3].

Однако ее применение не позволяет получить требуемых пространственных распределений теплофизических параметров – тепловых томограмм в режиме близкому к реальному времени. А именно такое временное ограничение на получение решения задачи (1) – (3), основанного на построении оптимизационной задачи, является новым требованием в технологии оценки эффективности противодействия ИК-разведки, дистанционного зондирования Земли и обнаружения малозаметных объектов в оптическом диапазоне длин волн, диагностирования состояния объектов трубопроводного транспорта с беспилотных летательных аппаратов, поиска и обнаружения скрытых дефектов в ходе теплового неразрушающего контроля.

Одним из путей разрешения возникшего противоречия является решение коэффициентной обратной задачи с применением специальных функций и классов библиотеки цифровой обработки изображений OpenCV. Несмотря на то, что в библиотеке OpenCV содержится значительный набор функций и классов, при решении обратных задач и построении тепловых томограмм необходимо дополнительно использовать методы контурного и фрактального анализа [11 – 13], положенные в основу разработки соответствующих алгоритмов и их программных реализаций, что позволит в режиме реального времени получать отображения тепловых томограмм с учетом особенностей тепловых процессов и решений коэффициентной обратной задачи.

Алгоритмы, отвечающие перечисленным выше требованиям, хорошо известны и основываются на градиентном поиске. Достижение эффективности при обработке ИК- изображений достигается:

1. Декомпозицией кадра ИК-видеопотока на подобласти.
2. Уменьшением информационной емкости данных для каждой подобласти.
3. Применением дискретных моделей, построенных на быстрых алгоритмах итерационных процедур.
4. Реализацией уравнения процесса измерения на основе метода сравнения с эталонной мерой.

В результате решения оптимизационной параметрической задачи в пределах растра ИК-изображения были получены распределения оцененных значений теплопроводности и температуропроводности исследуемого изотропного материала в пределах глубины прогрева (тепловые томограммы).

Список литературы

1. Громов, Ю. Ю. Дистанционная оценка пространственных распределений оптико-теплофизических параметров неоднородной среды / Ю. Ю. Громов, Ю. А. Губсков, И. Н. Ищук, И. В. Ворсин // Промышленные АСУ и контроллеры. 2014. – № 6. – С. 24 – 28.

2. Громов, Ю. Ю. Математическая модель автоматизированной системы испытаний ИК-заметности объектов в условиях неопределенности / Ю. Ю. Громов, А. М. Балюков, И. Н. Ищук, И. В. Ворсин // Промышленные АСУ и контроллеры. 2014. – № 7. – С. 12 – 19.

3. Громов, Ю. Ю. Дистанционная диагностика изотропных материалов комплексами БЛА / Ю. Ю. Громов, Ю. А. Губсков, И. Н. Ищук, А. В. Парфирьев // Промышленные АСУ и контроллеры. 2014. № – 8. – С. 46 – 50.

DETECTION OF HIDDEN OBJECTS IN INFRARED IMAGES, TAKING INTO ACCOUNT THE FEATURES OF HEAT EXCHANGE PROCESSES

Yu. Yu. Gromov, V. E. Didrikh, O. G. Ivanova
Tambov State Technical University, *Tambov*

Abstract. An approach to the study of heat exchange processes has been developed, based on the formulation and solution of a new class of inverse problems of heat conduction, the essential difference of which is the use of qualitative information. Solving the coefficient inverse problem of heat conduction using infrared image data allows you to identify objects using similar thermal and physical parameters, and segmentation of a thermal tomogram image allows you to select objects that are invisible in the original images.

Keywords: heat exchange processes, thermal conductivity tasks, infrared images, unmanned aerial vehicles.

УДК 004.74

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ОБЪЕКТА

Ю. Ю. Громов, В. Е. Дидрих, М. А. Ивановский
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Аннотация. Рассматривается математический аппарат, являющийся основой информационного обеспечения методов неразрушающего теплового контроля теплозащитных свойств образцов из твердых неоднородных или монолитных материалов, использующих прямоугольный нагреваемый участок поверхности. Проведен сравнительный анализ метода, использующего ПИХ-полосы температуры и метода, использующего температуру центральной точки этой полосы.

Ключевые слова: ПИХ-полосы, неразрушающий тепловой контроль.

Основная идея данной работы – создание поверхностных интегрирующих устройств, позволяющих измерять не температуру точки, а некоторый определенный интеграл температуры нагреваемого участка поверхности исследуемого образца. Разработан метод и устройства НК ТФС, основанные на поверхностных интегрирующих преобразователях температуры (интеграторы температуры – ИТ), позволяющие получать информацию о температуре участка поверхности в форме полосы.

Расчетные зависимости разработанного метода получены из решений краевых задач теплопроводности, которые проводились на идеологической основе метода интегральных характеристик (ИХ) [1, 2].

Будем называть интеграл $S(t)$, распространенный на некоторую неподвижную область V исследуемого тела, объемной интегральной характеристикой (ОИХ) функции $\vartheta(x,t)$ [1, 2]

$$S(t) = \int_V \rho(x)\vartheta(x,t)dx. \qquad (1)$$

Будем называть интеграл $\vartheta^*(x,p)$ по временной переменной t временной интегральной характеристикой (ВИХ) функции $\vartheta(x,t)$

$$\vartheta^*(x,p) = \int_0^\infty \exp(-pt)\vartheta(x,t,)dt\ ,\ p>0. \qquad (2)$$

Численный результат измерения получен в виде

$$S(t) = \int_v \beta(v)U(v)dv, \qquad (3)$$

где v – заданная область интегрирования температуры U; $\beta(v)$ – весовая функция, определяющая форму и вид ИТ.

Предположим, что при условиях проведения эксперимента, подробно рассмотренных в данной работе, для любого момента времени $t > 0$ избыточная температура $U(x, y, z, t)$ исследуемого тела не зависит от координаты y. Тогда температура $U(x,y,z,t) \equiv U(x,z,t)$ является решением следующей краевой задачи:

$$\frac{\partial U(x,z,t)}{\partial t} = a\left(\frac{\partial^2 U(x,z,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U(x,z,t)}{\partial z^2}\right), t > 0,\ -\infty < x < \infty,\ 0 < z < \infty; \quad (4)$$

$$U(x, z, 0)=0,\ \ U(x, z, t) \to 0,\ \ x, z \to \infty; \quad (5)$$

$$\left.\frac{\partial U(x,z,t)}{\partial z}\right|_{z=0,|x|\le \ell} = -\frac{q(x,t)}{\lambda},\ \ \left.\frac{\partial U(x,z,t)}{\partial z}\right|_{z=0,|x|>\ell} = 0\,. \quad (6)$$

Применим к задаче (4) – (6) пространственное интегральное косинус-преобразование Фурье [5].

Тогда искомые теплофизические коэффициенты в явном виде:

$$a = \frac{p_2\left[\overline{U}^*(s,p_2)\overline{q}^*(s,p_1)\right]^2 - p_1\left[\overline{U}^*(s,p_1)\overline{q}^*(s,p_2)\right]^2}{s^2\left\{\left[\overline{U}^*(s,p_1)\overline{q}^*(s,p_2)\right]^2 - \left[\overline{U}^*(s,p_2)\overline{q}^*(s,p_1)\right]^2\right\}}, \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{1}{s}\sqrt{\frac{-p_2\left[\dfrac{\overline{q}^*(s,p_1)}{\overline{U}^*(s,p_1)}\right]^2 + p_1\left[\dfrac{\overline{q}^*(s,p_2)}{\overline{U}^*(s,p_2)}\right]^2}{p_1 - p_2}}. \quad (8)$$

Так как формулы (7)–(8) используют численное значение ПВИХ температуры и теплового потока, то применение тепловизора вызывало значительную погрешность численного значения температуры поверхности. Создано устройство, использующее в полосе нагрева плоский полосовой поверхностный интегратор из термометра сопротивления (ТС). Так как температура поверхности для данной краевой задачи не является функцией координаты y, то температура $U(x, y, t) \equiv \equiv U(x, t)$.

Назовем $S_n(t)$ интегральной характеристикой температуры полосы. Для решения задачи применялось обратное косинус-преобразование Фурье и была получена ПВИХ температуры, которая при

условии ввода в данную зависимость безразмерного параметра $g(p) \equiv g = p\ell^2 / a$ будет иметь вид:

$$S_n^*(p) = \frac{2q^*(p)\ell}{\pi\lambda} \int_0^\infty \frac{\sin^2 \mu d\mu}{\mu^2 \sqrt{g + \mu^2}}. \quad (9)$$

Применим традиционный подход: зададим два значения параметра p_1 и p_2 ($p_1 \neq p_2$). В этом случае будут известны численные значения ПВИХ $S_n^*(p_1)$ и $S_n^*(p_2)$, полученные по экспериментальным значениям $S_n(t)$. Коэффициент температуропроводности a и теплопроводность λ определяются из следующих соотношений:

$$a = p\ell^2 / g, \quad (10)$$

$$\lambda = \frac{2}{\pi} \frac{q^*(p_i)}{S_n^*(p_i)} \int_0^\infty \frac{\sin^2 \mu d\mu}{\mu^2 \sqrt{g + \mu^2}}. \quad (11)$$

Параметр g находится из соотношения:

$$\frac{S_n^*(p_1)}{S_n^*(p_2)} \frac{q^*(p_2)}{q^*(p_1)} = \frac{V(g)}{V(kg)}; \quad k = \frac{p_1}{p_2}, \quad (12)$$

где $V(g) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{\sin^2 \mu d\mu}{\mu^2 \sqrt{g + \mu^2}}$, $V(kg) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{\sin^2 \mu d\mu}{\mu^2 \sqrt{kg + \mu^2}}$.

Здесь по экспериментально измеренным данным интегральной характеристики $S_n(t)$ и теплового потока $q(t)$ находится численное значение функции:

$$\Phi(p,k) = \frac{S_n^*(p_1)}{S_n^*(p_2)} \frac{q^*(p_2)}{q^*(p_1)}, \quad (13)$$

для заданных значений $p = p_1$ и k ($p_2 = kp$). Затем численно находим значение параметра g, неявно выраженного в зависимости:

$$\Phi(g,k) \equiv F(g,k) = \frac{V(g)}{V(kg)}, \quad (14)$$

затем по значению g определяется a из (10) и λ из (11), а объемная теплоемкость: $c\rho = \lambda / a$.

Численный анализ и эксперимент показали, что чувствительность метода, использующего ПИХ температуры полосы $S_п(t)$, выше, чем у

метода, используемого температуру $U_{ц}(t)$ центральной точки этой полосы [3]. Это позволяет сделать вывод, о большей чувствительности метода НК ТФС, основанного на измерении ПИХ температуры всего нагреваемого участка поверхности исследуемого образца, чем метода, основанного на измерении температуры в одной центральной точке этого нагреваемого участка поверхности.

Список литературы

1. Теплофизические измерения: справочное пособие / В. В. Власов, Ю. С. Шаталов, Е. Н. Зотов, А. С. Лабовская, С. В. Мищенко, А. К. Паньков, С. В. Пономарев, Н. П. Пучков, В. Г. Серегина, А. А. Чуриков. – Тамбов: Издательство Всесоюзного научно-исследовательского института резинотехнического машиностроения, 1975. – 256 с.

2. Чуриков, А. А. Методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств изделий и образцов из неоднородных твердых материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.11.13. / А. А. Чуриков. – Тамбов, 2000. – 650 с.

3. Карташов, Э. М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. / Э. М. Карташов. – 3-е изд. – М.: Высшая школа, 2001. – 550 с.

USING NON-DESTRUCTIVE THERMAL CONTROL TO DETERMINE OBJECT PROPERTIES

Yu. Yu. Gromov, V. E. Didrikh, M. A. Ivanovskiy
Tambov State Technical University, *Tambov*

Abstract. The mathematical apparatus is considered, which is the basis of information support of the methods of non-destructive thermal control of the heat-shielding properties of samples from solid inhomogeneous or monolithic materials using a rectangular heated surface area. A comparative analysis of the method using the FIR temperature band and the method using the temperature of the central point of this band has been carried out.

Keywords: FIR bands, non-destructive heat control.

УДК 53.089

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ ТЕПЛОВОЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

А. Г. Дивин, С. В. Мищенко, А. А. Жиркова
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов

Аннотация. Рассмотрены методы контроля качества объектов растительного происхождения, представлены их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: бесконтактный тепловой метод, контроль качества, методы контроля, объекты растительного происхождения.

В современных рыночных условиях резко возросли требования к качеству выпускаемой продукции, в том числе и продуктов растительного производства. В связи с этим повышается потребность в достоверном и высокопроизводительном контроле качества объектов растительного происхождения.

Овощи и фрукты, поступающие к потребителю, должны соответствовать ГОСТам. Состав и качество сырья, экологическая безопасность, соблюдение гигиенических и санитарных норм, а также соответствие продуктов требованиям и стандартам имеют огромное значение в технологии выращивания и изготовления пищевых продуктов. Продукт должен соответствовать определенным параметрам: размер, отсутствие повреждений и заболеваний. Это важно, во-первых, для здоровья человека, во-вторых, для реализации и хранения.

В настоящее время существуют следующие методы контроля:

1) Визуальный – подразумевает под собой оценку внешнего вида продукта человеком, возможно с приборами (например, лупой, микроскопом и др.). Устанавливается соответствие или несоответствие (дефект) овощей и фруктов требованиям стандарта. Контроль может быть сплошным, выборочным, разрушающим и неразрушающим.

Существенным недостатком этого метода является ограничение исследования только видимой областью изучаемого объекта, т.е. некоторые фитозаболевания не могут быть обнаружены человеком.

Этот метод обычно совмещают с другими методами. Иногда складываются условия, при которых ни один другой метод не может быть использован.

2) Гиперспектральный – метод основан на анализе спектра. Например, ученые Боннского университета, Технического университета в Дортмунде и Института Фрауэнгофа разработали метод, который

заключается в исследовании изменения цвета стеблей, листьев и цветков, что является характерной чертой болезни (например, бурая ржавчина и др.) [1]. Участки с измененной окраской отражают световые волны иначе, чем здоровые ткани растений. Ученые считают, что каждой болезни присущ свой вид отражения.

Достоинством этого метода является быстрота (сразу определяется инфекция и возбудитель, стадия и степень тяжести заболевания), простота использования (датчики можно прикрепить к сельскохозяйственной технике, фермеры легко могут наблюдать за посевами), регистрируются минимальные изменения в состоянии здоровья растения.

К недостаткам можно отнести тот факт, что данные системы работают в узком интервале длин волн и некоторые заболевания в этом диапазоне просто не видны.

3) Тепловой метод основан на взаимодействии теплового поля объекта с термометрическим чувствительным элементом (термопарой, болометром, термоиндикаторами и т.п.), преобразования параметров поля (интенсивности, температурного градиента, контраста, лучистостей и др.) в параметры электрического или другого сигнала и передаче его на регистрирующий прибор [2]. Данный метод основан на измерении, наблюдении и постоянном анализе температур внутри и на поверхности исследуемого объекта растительного происхождения. Основное условие использования этого способа – конвекция тепла в объекте изучения.

Важным техническим параметром является изменение температуры. Эти измерения помогают определить внутренние и внешние свойства, а также присутствие невидимых внутренних заболеваний.

К преимуществам теплового неразрушающего контроля можно отнести: контроль может производится на удалении от исследуемого объекта; производительность и скорость обработки данных достаточно высоки; возможность изучать объект сразу с нескольких сторон; возможно получение одновременно нескольких параметров при исследовании; совмещение данного метода с другими; стандартные системы обработки информации; производство контроля конвейерного типа, а также применение автоматической системы управления; длина волны инфракрасного света 8…14 мкм.

К приборам теплового контроля относят: тепловизоры, термометры, измерители тепловых потоков, пирометры, логгеры данных, измерители теплопроводности и термоэтикетки.

Работа этих приборов основана на измерении и теплового потока и температуры.

Тепловой метод может быть бесконтактный (в зависимости от температуры объекта за счет излучения электромагнитных волн в видимой или инфракрасной части спектра) и контактный.

Методы при тепловом контроле применяют активные (объект подвергают воздействию от внешнего источника энергии; для создания тепловых потоков внутри объекта контроля производится нагрев специальным внешним источником тепла; делятся на стационарные и нестационарные) и пассивные (объект не подвергают воздействию от внешнего источника энергии, что и является преимуществом данного метода; используется постоянно действующее, естественное тепловое возбуждение в объекте) [2].

Наиболее интересные разработки в этой сфере исследований:

1. Тепловой метод активного контроля качества картофеля с применением систем технического зрения, предложенный С. В. Мищенко, А. Г. Дивиным.

На рисунке 1 представлена функциональная схема контроля.

Суть метода: объект контроля вращают путем помещения между двумя вращающимися валками и воздействуют на него с двух сторон импульсами теплового излучения от инфракрасных ламп. С помощью приемника излучения получается изображение исследуемого объекта в инфракрасном свете в разных ракурсах. Это можно посмотреть на рис. 2 [3].

Рис. 1. Функциональная схема теплового активного контроля картофеля

Рис. 2. Картофель с гнилью в видимом свете и с гнилью в инфракрасном свете

2. Метод тонкослойной хроматографии, который предложили О. Сиза, И. Тимкова, О. Савченко, В. Челябиева [4].

3. Метод и устройство для теплового неразрушающего контроля качества овощей и фруктов, предложенный А. Г. Дивиным, А. А. Чуриковым, А. Г. Филатовой [5].

В статье описывается устройство и метод контроля комплекса тепловых и физических свойств (теплопроводность, теплоемкость, коэффициент температуропроводности образцов растительного происхождения).

Описывается случай, когда нагрев осуществляется только на небольшом участке поверхности образца. Это технически более доступно и экономично.

В работе взяли два полуограниченных тела (одно с известными свойствами, второе – объект, свойства которого необходимо определить) и поместили между ними плоский нагреватель. Воздействием тепла через локальный участок поверхности в образце создали многомерный тепловой процесс.

На рисунке 3 представлена структурная схема измерительной установки.

4. Тепловой метод контроля качества объектов, предложенный С. В. Мищенко, А. Г. Дивиным, Ю. Ю. Громовым, П. В. Балабановым.

Метод создан с помощью анализа изображений, полученных в инфракрасном свете после теплового воздействия на объекты контроля в ходе специально организованного теплофизического эксперимента. Режимные параметры такого воздействия должны обеспечивать максимальную чувствительность метода контроля. Они могут определять-

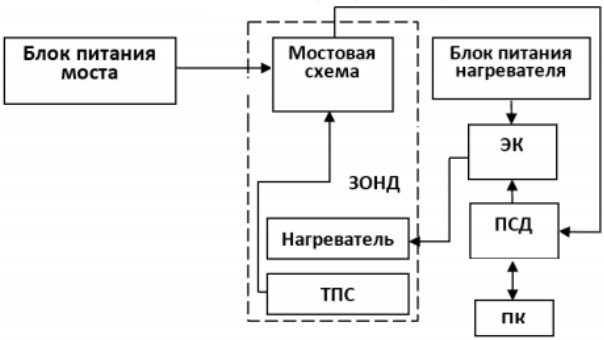


Рис. 3. Структурная схема измерительной установки:
ПК – персональный компьютер; ТПС – термопреобразователь сопротивления; ЭК – электронный ключ; ПСД – плата сбора данных

ся по результатам аналитического и численного моделирования процессов теплопереноса в объектах, содержащих включения с другими теплофизическими свойствами [6].

5. Использование фотоники в растениеводстве закрытого грунта, метод предложен Е. М. Басарыгиной, Т. А. Путиловой, А. Ю. Полтавским [7].

Они предложили использовать технические средства и методы, применимые в фотонике для реализации технологий электродосвечивания и электросветокультуры в закрытом грунте, а также для проведения контроля качества овощей.

Из вышеизложенного материала можно сделать вывод, что неразрушающий бесконтактный тепловой метод контроля качества объектов растительного происхождения достаточно перспективен. Исследования нормативной документации показывают, что разработке нормативных требований к проверке качества растительных объектов не уделяется необходимого внимания. Тепловой контроль качества, обладающий такими свойствами как оперативность, точность, простота, универсальность, большая производительность, дистанционность, может стать необходимым инструментом в обеспечении доступности и безопасности продуктов питания на стадиях уборки урожая, сортировки и хранения.

В целом данный метод позволит сохранить урожай на долгие месяцы, а здоровье на годы.

Список литературы

1. Новый способ быстрой диагностики заболеваний растений [Электронный ресурс]. – URL: http://infoindustria.com.ua/novyiy-sposob-byistroy-diagnostiki-zabolevaniy-rasteniy/ (дата обращения: 29 сентября 2018).

2. ГОСТ 23483–79. Контроль неразрушающий. Методы теплового вида. Общие требования.

3. Гриднева, Т. С. Метод теплового контроля качества овощей и фруктов с применением технического зрения [Текст] / Т. С. Гриднева, И. И. Пеняскина, Н. А. Спицын, Е. Г. Тимонина // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сб. науч. тр. – 2016. – С. 195 – 197.

4. Сизая, О. И. Эффективность контроля качества пищевых продуктов методом тонкослойной хроматографии [Текст] / О. И. Сизая, И. О. Тымкова, О. Н. Савченко, В. Н. Челябиева // Технические науки и технологии: сб. науч. тр. – 2018. – № 1 (11). – С. 150 – 158.

5. Дивин, А. Г. Метод и устройство для теплового неразрушающего контроля качества овощей и фруктов [Текст] / А. Г. Дивин, А. А. Чуриков,

А. Г. Филатова // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сб. науч. тр. – 2016. – С. 231 – 235.

6. Мищенко, С. В. Тепловой метод контроля качества объектов [Текст] / С. В. Мищенко, А. Г. Дивин, Ю. Ю. Громов, П. В. Балабанов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы III Международной науч.-практ. конференции. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016.

7. Басарыгина, Е. М. Фотоника в растениеводстве закрытого грунта [Текст] / Е. М. Басарыгина, Т. А. Путилова, А. Ю. Полтавский // Научные проекты Южно-уральского государственного аграрного университета: сб. науч. тр. – Челябинск, 2016. – С. 65 – 68.

NON-DESTRUCTIVE NON-CONTACT THERMAL METHOD OF QUALITY CONTROL OF OBJECTS OF PLANT ORIGIN

A. G. Divin, S. V. Mischenko, A. A. Zhirkova

Tambov State Technical University, *Tambov*

Abstract. The methods of quality control of objects of plant origin are considered, their advantages and disadvantages are presented.

Keywords: non-contact thermal method, quality control, methods of control, objects of plant origin.

УДК 681.518.3

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОВОЩЕЙ

А. С. Егоров, А. Г. Дивин
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
egorov.andrey@list.ru; agdv@yandex.ru

Аннотация. Разработана автоматизированная система, позволяющая проводить измерения теплофизических свойств овощей в целях осуществления контроля их качества.

Ключевые слова: теплофизические свойства, контроль качества овощей, тепловизионная камера, техническое зрение.

Здоровье и продолжительность жизни человека во многом зависят от качества потребляемых им продуктов питания. Большое значение в рационе питания имеют овощи и фрукты, которые являются источниками витаминов, минералов, углеводов и других, полезных для организма человека, веществ.

Очень важно, чтобы до потребителя доходили только качественные и безопасные овощи и фрукты. Во многом эта задача решается путем сортировки, в ходе которой отбраковываются инородные тела, а также растительные объекты, имеющие несоответствующие размеры и повреждения, полученные в результате фитозаболеваний или механических воздействий. При сортировке применяются как механические методы с использованием ручного труда, так и автоматические сортировочные комплексы с применением бесконтактных неразрушающих методов контроля [1 – 6]. Как правило, эти методы основаны на бесконтактной идентификации здоровой и поврежденной растительной ткани в зависимости от ее плотности (ультразвуковые и рентгеновские методы контроля), цвета (оптические), эмиссионного или абсорбционного спектра (гиперспектральный метод), а также свойств некоторых микроорганизмов, вирусов и грибков преобразовывать энергию ультрафиолетового излучения в видимый свет (люминесцентный контроль).

В последние годы активно развивается тепловой контроль качества овощей и фруктов [4]. Здоровые и поврежденные растительные ткани имеют различную структуру (следовательно, различные значения

теплопроводности, теплоемкости, коэффициента температуропроводности). Поэтому в процессе нагрева (охлаждения) их температуры отличаются. Таким образом, суть теплового контроля состоит в кратковременном тепловом воздействии на объекты контроля и выявлении поврежденных участков объектов на основе анализа нестационарных температурных полей их поверхностей.

Для автоматической регистрации дефектов растительных тканей по изображениям, получаемым в ходе теплового контроля, все чаще используются системы технического зрения. Эти системы включают в себя тепловизионные камеры, имеющие высокую чувствительность в диапазоне 7…13 мкм длин волн электромагнитного излучения, персональный компьютер или контроллер, а также специализированное программное обеспечение, позволяющее проводить цифровую обработку изображений.

Для надежной регистрации дефектов необходимо обеспечить высокий и безопасный для растительных тканей температурный контраст ΔT между здоровыми и поврежденными участками. Для создания ΔT в процессе контроля оказывают тепловое воздействие на объект. При этом величина температурного контраста в значительной степени зависит от мощности и времени теплового воздействия, а также от теплофизических свойств (ТФС) объекта контроля. Очевидно, что для объектов, отличающихся физическими свойствами, например, яблок или картофеля, максимальные значения ΔT при одних и тех же параметрах теплового воздействия будут отличаться. Поэтому актуально решение задач определения рациональных параметров теплового воздействия на объект, при которых система контроля позволит с требуемой вероятностью обнаружить дефекты. Цель данной работы состояла в разработке автоматизированной системы теплового контроля качества (АСКК) клубней картофеля для повышения эффективности.

Для автоматизированного исследования ТФС был применен разработанный нами ранее бесконтактный метод [7]. В его основу положено допущение, что объект контроля представляет собой полуограниченное тело, на круглый участок радиусом R поверхности которого воздействует источник тепла с известной функцией мощности q_1 от времени t.

Для реализации описанного метода разработана автоматизированная система контроля ТФС, которая состоит из следующих основных функциональных блоков: объект контроля *1*, тепловизионная камера *2*, адаптер *3*, персональный компьютер *4*, блок управления *5*, блок питания *6*, лазер *7* (рис. 1).

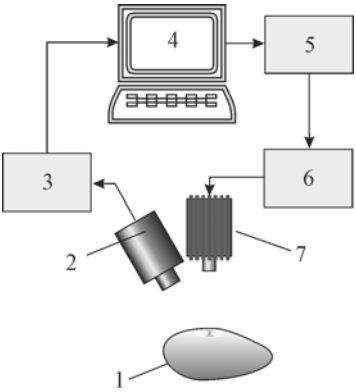


Рис. 1. Схема автоматизированного измерения ТФС овощей

Для получения первичной информации о температуре поверхности тела используется тепловизионная камера производства фирмы FLIR модели A35. Тепловизионная камера предназначена для систем технического зрения и может формировать видеопоток со скоростью до 60 кадров в секунду. Программное обеспечение, разработанное в среде графического программирования LabVIEW 2016, принимает изображение с тепловизионной камеры, покадрово обрабатывает его с применением технологий машинного зрения NI Vision и определяет значение интегральной температуры на круглом участке поверхности объекта радиусом R и искомые теплофизические характеристики объекта контроля.

Список литературы

1. “Recent advnes in emerging imaging techniques for non-destructive detection of food quality and safety”, Trends in Analitical Chemistry / Q. Chen, Ch. Zhang, J. Zhao, Q. Ouyang. – 2013. – V. 52. – P. 261 – 274.

2. “Hyperspectral-multispectral linescan imaging system for automated poultry carcass inspection applications for food safety”, Poult. Sci. / K. Chao, C. Yang, Y. Chen, M. Kim, D. Chan. – 2007. – V. 86. – P. 2450 – 2460.

3. Du, C. J. “Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation”, Trends Food Sci. Technol. / C. J. Du, D.W. Sun. – 2004. – V. 15. – P. 230 – 249.

4. “Detection of foreign bodies in food by thermal image processing”, IEEE Trans. Ind. Electron. / G. Ginesu, D. D. Giusto, V. Margner, P. Meinlschmidt. – 2004. – V. 51. – P. 480 – 490.

5. Mehl, P. “Detection of defects on selected apple cultivars using hyperspectral and multispectral image analysis”, Appl. Eng. Agric. / P. Mehl, K. Chao, M. Kim, Y. Chen. – 2002. – V. 18. – P. 219 – 226.

6. “Trends in application of imaging technologies to inspection of fish and fish products”, Trends Food Sci. Technol. / J. R. Mathiassen, E. Misimi, M. Bondo, E. Veliyulin, S. O. Ostvik. – 2011. – V. 22. – P. 257 – 275.

7. “Thermal control of potatoes quality”, 2017 International Conference “Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies” (IT&QM&IS) / A. G. Divin, A. A. Churikov, P. V. Balabanov, A. P. Savenkov and A. S. Egorov. – St. Petersburg, 2017. – P. 716 – 719.

AUTOMATED MESUREMENT SYSTEM OF VEGETABLES THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS

A. S. Egorov, A. G. Divin
Tambov State Technical University, *Tambov*

Abstract. An automated system has been developed that allows measurements of vegetables thermophysical characteristics in order to control their quality.

Keywords: thermophysical characteristics, vegetables quality control, thermal imaging camera, computer vision.

УДК 66-5

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК В БЕТОНЫ, ИХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

И. А. Елизаров, А. А. Третьяков, В. Н. Назаров
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов

Аннотация. Рассмотрен вариант построения автоматизированного лабораторного комплекса для исследования свойств химических добавок в бетоны и технологий их производства. Представлена структура комплекса технических средств системы управления лабораторным комплексом.

Ключевые слова: добавки в бетоны, автоматизированный лабораторный комплекс, система управления; SCADA-система.

Современное производство бетона невозможно без применения химических добавок. Добавки в бетон успешно применяются на объектах жилищного строительства, при сооружении дорожных и аэродромных покрытий, в строительстве мостов и тоннелей, на гидротехнических сооружениях. Неоспоримым достоинством химических добавок в бетоны является стабильность их поведения на различных цементах и инертных материалах при условии соответствующего качества последних [1].

Разработка новых химических добавок в бетоны – трудоемкий и дорогостоящий процесс [2]. Одним из вариантов снижения трудоемкости и стоимости разработки таких добавок является их синтез на специализированных лабораторных установках. На таких пилотных установках возможно проводить разработку и исследование технологий производства целого ряда перспективных продуктов. Автоматизация лабораторных комплексов позволит значительно повысить эффективность проводимых исследований.

Создаваемые автоматизированные лабораторные комплексы (АЛК) должны быть компактными, иметь широкий набор контрольно-измерительной аппаратуры (датчиков для измерения различных технологических параметров), возможность реализовывать на установке различные термодинамические режимы.

На ПАО «Пигмент» в сотрудничестве с Тамбовским государственным техническим университетом создан пилотный АЛК (рис. 1), предназначенный для разработки и исследования технологий производства перспективных химических добавок в бетоны.

Рис. 1. Пилотный автоматизированный лабораторный комплекс

Система управления АЛК обеспечивает:

- различные температурные режимы ведения процесса в реакторах (нагрев, охлаждение, стабилизация температуры, программное регулирование);
- различные режимы дозирования реагентов в реакторы (дозирование по массе, дозирование по времени, дозирование с заданной и изменяемой по программе производительностью, дозирование до достижения заданной величины pH и др.);
- различные гидродинамические режимы ведения процесса в реакторах за счет возможности варьирования в широких пределах частоты вращения мешалок;
- протоколирование хода проведения процесса (ведение трендов технологических параметров в графической и табличной формах, архивирование данных, протоколирование действий оператора).

Система управления АЛК строится как иерархическая многоуровневая система, в которой можно выделить нижний уровень датчиков и исполнительных механизмов, средний уровень ПЛК и верхний операторский уровень (автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора).

Структура комплекса технических средств (КТС) АЛК представлена на рис. 2.

КТС включает щит контроля и управления (ЩКУ), в котором установлены: отечественный промышленный контроллер ПЛК 308 (компания «ОВЕН») с модулями аналогового и дискретного ввода-вывода серии Мх-110, блоки питания, промежуточные реле.

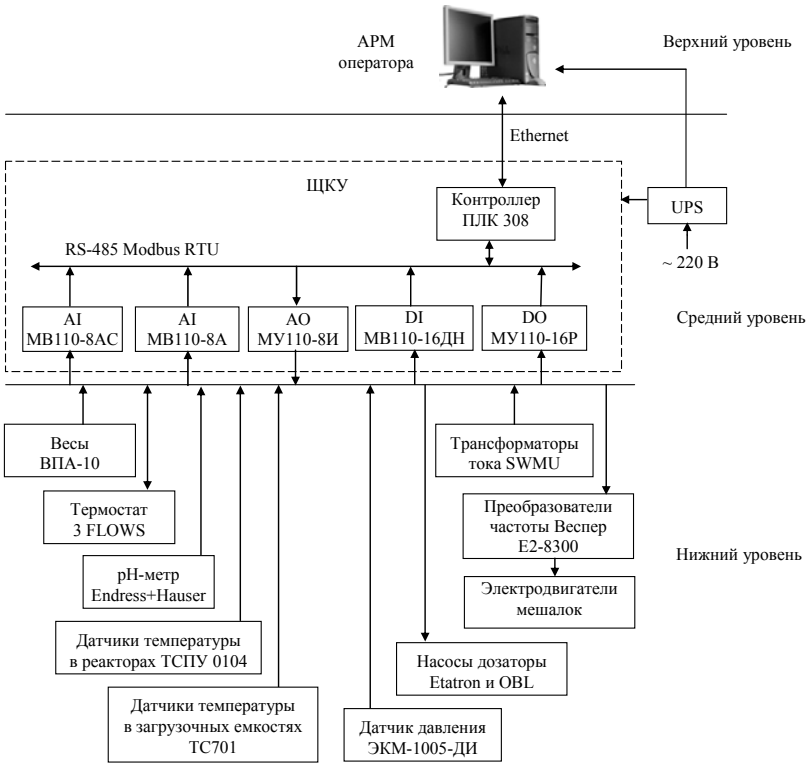


Рис. 2. Структура КТС системы управления АСУ ТП:
ЩКУ – щит контроля и управления; AI – модули аналогового ввода;
AO – модуль аналогового вывода; DI – модуль дискретного ввода;
DO – модуль дискретного вывода; UPS – бесперебойный источник питания

АРМ оператора реализовано с использованием отечественной SCADA-системы «КРУГ-2000». АРМ реализует [3]:

- сбор текущей информации о ходе технологического процесса от ПЛК;
- представление текущей и исторической информации на дисплее АРМ;
- обработку, архивирование и хранение текущей информации;
- отслеживание аварийных и предаварийных ситуаций с генерацией сигналов тревоги, представление и запись аварийных ситуаций в моменты их возникновения;
- ввод и передачу команд и сообщений оператора в ПЛК;

- регистрацию действий оператора;
- разграничение доступа и прав пользователям АРМ.

Разработанная пилотная АЛУ значительно повысила эффективность работы лаборатории ПАО «Пигмент» в области разработки и исследований технологий производства перспективных добавок в бетоны.

Список литературы

1. Ерохин, В. С. Химические добавки для высококачественных бетонов / В. С. Ерохин // Технологии бетонов. – 2009. – № 11(28). – С. 12 – 14.

2. Елизаров, И. А. Автоматизированная система управления процессом приготовления основы добавок к бетонам / И. А. Елизаров, В. Н. Назаров, А. А. Третьяков // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2016. – № 1. – С. 4 – 10.

3. Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы: учебное пособие / И. А. Елизаров, А. А. Третьяков, А. Н. Пчелинцев и др. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 160 с.

AUTOMATED LABORATORY COMPLEX FOR RESEARCH OF PRODUCTION TECHNOLOGIES OF CHEMICAL ADDITIVES IN CONCRETE, THEIR THERMOPHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

I. A. Elizarov, A. A. Tretyakov, V. N. Nazarov
Tambov State Technical University, *Tambov*

Abstract. The variant of construction of the automated laboratory complex for research of properties of chemical additives in concrete and technologies of their production is considered. The structure of the complex of technical means of the laboratory complex control system is presented.

Keywords: concrete additives, automated laboratory complex, control system; SCADA-system.

УДК 681.32:007.5

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФРАКТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ АЭРОФОТОСНИМКОВ

И. А. Железнов, С. Н. Андреев
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж
miroyar@rambler.ru

Аннотация. Рассматривается фрактальный подход к решению задачи автоматизированного обнаружения и выделения объектов видовой аэрокосмический разведки для их дальнейшего дешифрирования.

Ключевые слова: дистанционное зондирование земли, обнаружение, распознавание, идентификация.

В современных условиях преимуществом в ходе ведения боевых действий обладает тот, кто способен в наикратчайший срок (в режиме близком к реальному времени) получать, обработать и передать органам военного управления (ОВУ) необходимые разведданные.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением развития воздушной разведки является применение беспилотной авиации. Выполнение разведывательного полета с использованием БПЛА, особенно в условиях боевых действий, значительно снижает риск потери экипажа, а зачастую является единственным способом получения оперативно-тактической информации с поля боя. При этом ключевую роль начинает играть скорость получения и обработки данных воздушной разведки, для качественного анализа которых требуются специальные аппаратные и программные средства, позволяющее своевременно обрабатывать большой объем поступающей информации.

Одним из перспективных методов обработки аэрофоматериала является фрактальный метод анализа текстуры изображений, позволяющий описывать свойства неоднородностей на этих фотоснимках.

В связи с этим, целью данной работы является определение характеристик изображений объектов на аэрофотоснимках, позволяющих решить задачу автоматизации процесса поиска, выделения и распознавания объектов специального мониторинга на фоне подстилающей поверхности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд трудно формализуемых задач, в частности задачу поиска неоднородностей (артефактов) на изображениях подстилающей поверхности с однородной текстурой, задачу фильтрации этих артефактов и выяв-

ления потенциальных целевых объектов (целей), а также задачу подсветки (выделения) этих объектов на изображении для окончательного принятия решения оператором.

Одним из этапов автоматизированной обработки аэрофотоснимков при подготовке их к дешифрированию, является обнаружение целевых объектов. Эта задача, даже при известных параметрах объекта, не является тривиальной. Если же параметры искомого объекта не известны, то решение данной задачи требует еще более неординарного подхода.

Предложенный метод поиска неоднородностей (артефактов) на изображениях основан на следующем положении. Любое изображение земной поверхности содержит два класса объектов: естественные (природные) и искусственные (антропогенные). Для моделирования природных объектов используется фрактальная геометрия, которая была введена Б. Мандельбротом [1].

Фракталом (от латинского fractus – изломанный, дробленый) называется математическое множество, которое обладает свойством самоподобия (объект, в точности или приближенно совпадающий с частью себя самого).

Фундаментальными характеристиками фракталов, позволяющими моделировать природные объекты, являются: самоподобие – способность увеличенного фрагмента объекта выглядеть идентично исходному объекту и фрактальная размерность D – коэффициент, описывающий структуру объектов на основе количественной оценки их сложности или зависимость метрических свойств (длина, ширина, площадь) от масштаба измерения.

Получение численного значения D объекта позволяет сделать вывод о его принадлежности к классу природных либо антропогенных объектов. Для реальных объектов и их изображений строгое математическое вычисление фрактальной размерности неприменимо. Вместо этого используются различные оценочные методы. Применительно к фрактальному анализу изображений, полученных с БПЛА, могут быть использованы методы расчета размерности D поверхности, формируемой значениями яркости цифрового оптико-электронного изображения. К числу таких методов относят метод призм, метод подсчета кубов, метод броуновской модели и ряд других методов [1 – 3], которые используют скользящие окна сканирования изображения, размер которых зависит от целевого назначения.

Метод призм разработан Кларком в 1986 г. для вычисления D топографических поверхностей [3]. По цифровому изображению перемещается окно сканирования, в котором происходит определение значений яркости пикселов, как правило, когда маска (окно) сканирования равна 2×2 или 3×3 пикселя, а затем вычисляются площади четырех простран-

ственных треугольников, формируемых за счет перепадов по яркости, которые в сумме дают призму. Каждый такой треугольник является верхней поверхностью призмы, построенной от основания, где яркость составляет 0, до соответствующих значений яркости (рис. 1). Таким образом, суммарная площадь всех четырех пространственных треугольников, формирующих фрактальную поверхность, будет больше либо равна евклидовой площади сканирующей маски (окна).

Фрактальная размерность D вычисляется как отношение логарифмов площадей фрактальной ($S_{\text{фр}}$) и евклидовой (S) поверхностей в окне:

$$D = \frac{\log(S_{\text{фр}})}{\log(S)}. \qquad (1)$$

Для решения задачи описания и выделения контуров объектов, был разработан и реализован в среде высокоуровневого моделирования «Matlab» алгоритм определения фрактальных признаков объектов основанный на модифицированном методе призм [3].

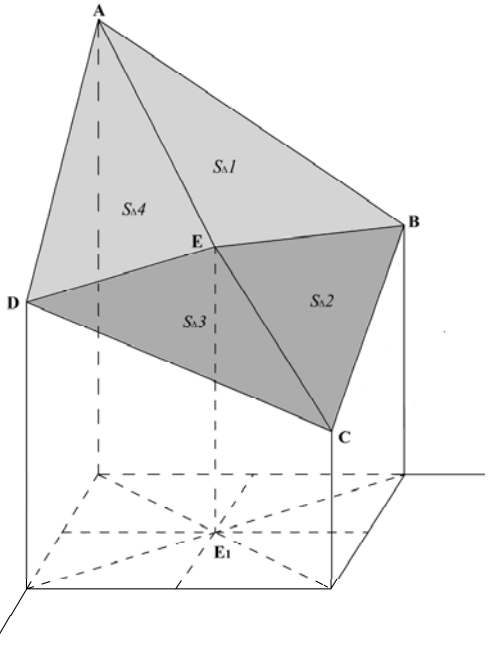
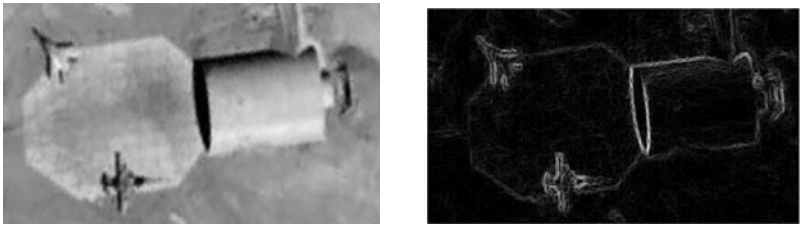


Рис. 1. Треугольная призма в окне сканирования:
A, B, C, D – значение яркости отдельно взятого пиксела;
S – площадь основания призмы



а) *б*)

Рис. 2. Снимок авиационной базы в Ираке и результат обработки с использованием предложенного фрактального метода

Результаты обработки изображений предложенным методом показаны на рис. 2, где слева представлено исходное изображение, а справа – результат его фрактальной обработки.

С использованием предложенного метода анализа текстуры изображения на исходном снимке были найдены фрактальные артефакты, характеризующие целевые объекты, после чего, с применением способа морфологической обработки изображений, определены наиболее характерные признаки артефактов и выделены целевые объекты на изображении, на которые стоит обратить внимание оператору.

На рисунке 3 показан результат обработки аэрофотоснимка предложенным методом.

Предложенный подход значительно ускоряет анализ большого потока однотипных изображений и облегчает их дешифрование.

Предложенный метод является вспомогательным при обработке большого потока однотипных данных. Данный метод обработки текстур имеет перспективы дальнейшего развития, особенно в комплексе с нейросетевыми методами обработки изображений.

Рис. 3. Результат обработки аэрофотоснимка предложенным методом

Очевидно, что фрактальные свойства объектов позволяют различать природу их происхождения – естественное или антропогенное. Таким образом, развитие и совершенствование методов обработки аэрофотоснимков на основе фрактальных свойств изображенных на них объектов является перспективным.

Список литературы

1. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 464 с.

2. Разработка методики использования фрактальных свойств объектов при дешифрировании данных дистанционного зондирования земли / И. А. Железнов, И. А. Выхованец, В. Г. Фирсов, С. Н. Андреев // Комплексные проблемы техносферной безопасности: матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2017. – Ч. 1. – С. 65 – 70.

3. Fractal analysis of remotely sensed images: A review of methods and applications / W. Sun, G. Xu, P. Gong, S. Liang // Int. J. Remote Sens. – 2006. – V. 27, N 22, 20 November. – P. 4963 – 4990.

DEVELOPMENT OF THE METHODS OF THE USE FRAKTALINYH CHARACTERISTIC OBJECT UNDER IDENTIFICATION AIREAL PHOTO

I. A. Zheleznov, S. N. Andreev

Military Educational Research Centre of Air Force "*Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin*", *Voronezh*

Abstract. An approach to the problem of automatic recognition object in the decryption of aerial photography is based on the use of fractal properties of images.

Keywords: remote flexing the land, finding, recognition, identification

References

1. Mandel'brot, B. Fraktal'naya geometriya prirody / B. Mandel'brot. – M.: Institut komp'yuternyh issledovanii, 2002. – 464 s.

2. Razrabotka metodiki ispol'zovaniya fraktal'nyh svoistv ob'ektov pri deshifrirovanii dannyh distancionnogo zondirovaniya zemli / I. A. Jeleznov, I. A. Vyhovanec, V. G. Firsov, S. N. Andreev // Kompleksnye problemy tehnosfernoi bezopasnosti: materialy IV Mejdunar. nauch.-prakt. konf. – Voronej: FGBOU VPO "Voronejskii gosudarstvennyi tehnicheskii universitet", 2017. – Ch. 1. – S. 65 – 70.

3. Fractal analysis of remotely sensed images: A review of methods and applications / W. Sun, G. Xu, P. Gong, S. Liang // Int. J. Remote Sens. – 2006. – V. 27, N 22. – 20 November. – P. 4963 – 4990.

УДК 621.01/.03, 621.37

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ HYDRUS-1D В ЗАДАЧЕ ТЕПЛОВОЙ ТОМОГРАФИИ

И. Н. Ищук[1], Д. Д. Дмитриев[2], А. А. Долгов[1], А. А. Бебенин[1]
[1]Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж
boerby@rambler.ru
[2]Сибирский федеральный университет, Красноярск

Аннотация. Приводятся исследования программной среды HYDRUS-1D при решении прямой задачи теплопроводности для различных материалов в условиях естественного теплообмена с окружающей средой. Приведены результаты экспериментальной апробации задания теплофизических параметров материалов, взятых в качестве эталонных, различными вариантами и их сравнительный анализ.

Ключевые слова: теплофизические параметры, теплопроводность, теплоемкость, объемная теплоемкость, плотность, программная среда.

В настоящее время одним из перспективных направлений ведения дистанционного мониторинга и анализа техногенных территорий является применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) большой длительности полета в совокупности с многоспектральными оптико-электронными средствами (ОЭС), позволяющие получать множество динамических многоспектральных изображений района мониторинга. Весьма важную роль при этом играет дешифрирование получаемых многоспектральных изображений, заключающееся в распознавании малозаметных техногенных объектов, находящихся в условиях естественного теплообмена с окружающей средой, вскрытии их структуры и состава на основе оценки двумерного пространственного распределения теплофизических параметров (ТФП) поверхностного и глубинного слоев территории мониторинга, с помощью получаемых тепловых томограмм этих слоев.

Для решения задачи расчета пространственного распределения температурных полей на поверхности и вглубь исследуемого района дистанционного мониторинга рассмотрим программную среду математического моделирования HYDRUS-1D, имеющую весьма узкую область применения. В работе приводятся исследования по практическому использованию программной среды HYDRUS-1D при расчете

пространственного распределения температурных полей в различных классах материалов, а в частности, описан альтернативный вариант задания ТФП в данной программной среде, позволяющий ей работать со всеми известными классами материалов.

Постановка задачи. Для задания теплофизических параметров материала необходимо войти в раздел «HeatTransport-Parameters» главного интерфейса HYDRUD-1D (рис. 1). Откроется окно, изображенное на рис. 2.

В таблицу, расположенную в данном окне, необходимо занести следующие ТФП материала: теплопроводность $\lambda(\theta)$, объемная теплоемкость $C_p(\theta)$.

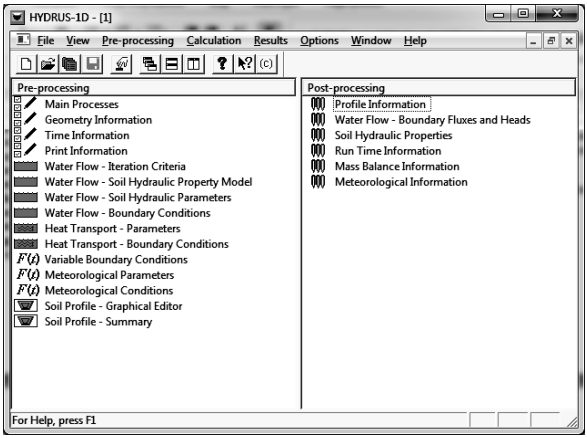


Рис. 1. Интерфейс HYDRUS-1D

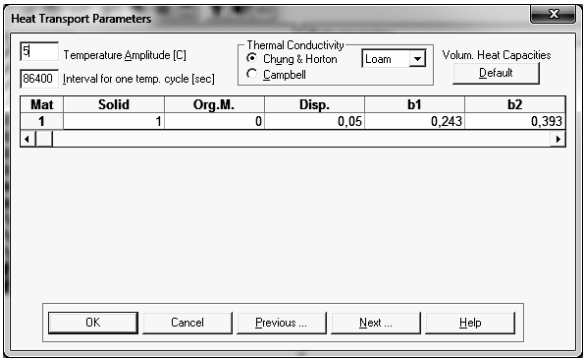


Рис. 2. Окно «Heat Transport Parameters» HYDRUS-1D

Теплопроводность $\lambda(\theta)$ определяется эмпирическим выражением [1]:

$$\lambda(\theta) = b_1 + b_2\theta + b_3\theta^{1/2}, \quad (1)$$

где θ – насыщенность материала водой; b_1, b_2, b_3 – эмпирические параметры материала.

Уравнение (1) имеет место для неоднородных переменно-насыщенных пористых сред (почв). Для работы со справочными данными уравнение (1) можно упростить:

$$\lambda(\theta) = b_1, \quad (2)$$

где b_1 – справочное значение теплопроводности для данного материала.

Объемная теплоемкость $C_p(\theta)$ определяется уравнением (3) [1]:

$$C_p(\theta) = C_n\theta_n + C_o\theta_o + C_w\theta + C_a a_\upsilon - (1{,}92\theta_n + 2{,}51\theta_o + 4{,}18\theta)\cdot 10^6, \quad (3)$$

где C_n, C_o, C_w, C_a – теплоемкость твердой фазы, органических веществ, жидкой фазы и газообразной фазы материала соответственно; θ_n, θ_o – объемная доля твердого вещества и органических веществ в материале соответственно.

Значение θ_n соответствует полю таблицы «Solid», а значение θ_o – полю таблицы «Org. m».

Так как в дальнейшем предполагается рассмотрение только твердых материалов, то объемную теплоемкость твердой фазы материала определим соотношением:

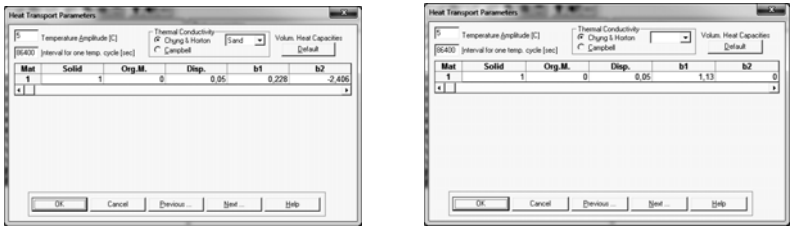
$$C_p(\theta) = C_n\theta_n = C_T\rho_T, \quad (4)$$

где C_T – справочное значение теплоемкости материала; ρ_T – справочное значение плотности материала.

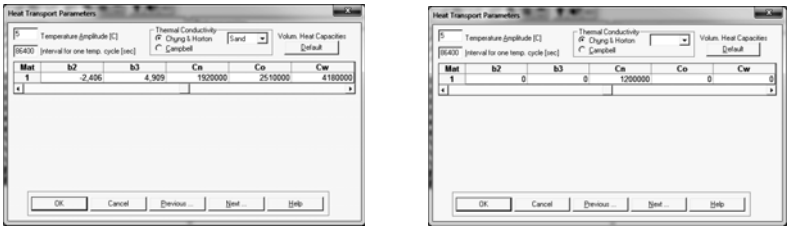
Экспериментальная апробация. Экспериментальная апробация предложенного варианта задания ТФП заключается в сравнении распределения температурных полей в заранее выбранном эталонном материале, заданного с помощью выбора его из встроенного каталога HYDRUS-1D и с помощью описанного варианта с использованием справочных значений ТФП данного эталонного материала.

В качестве эталонных материалов выберем песок ($\lambda(\theta)$ = 1,13 Вт/м·К, C_T = 800 Дж/кг·К, ρ_T = 1500 кг/м^3) и глину ($\lambda(\theta)$ = 0,8 Вт/м·К, C_T = = 750 Дж/кг·К, ρ_T = 2300 кг/м^3)

Задание эталонных материалов вышеописанными вариантами в HYDRUS-1D представлено на рис. 3 и 4.

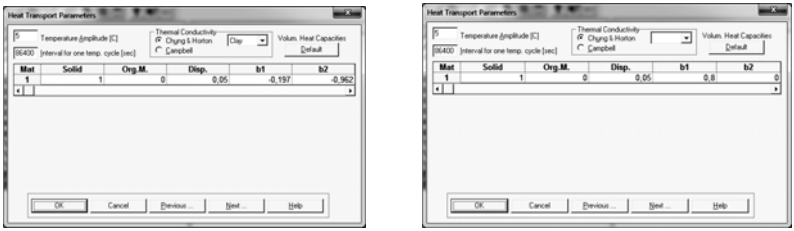


а)

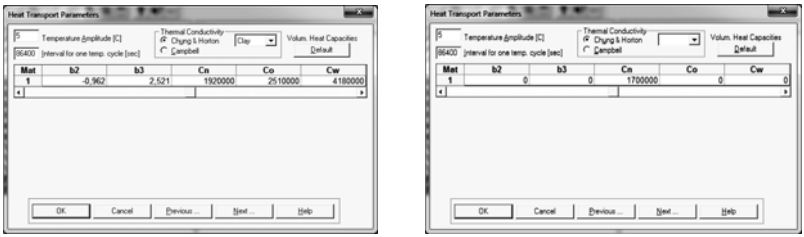


б)

Рис. 3. Задание ТФП эталонного материала песок:
а – выбором из каталога HYDRUS-1D;
б – с использованием справочных значений ТФП



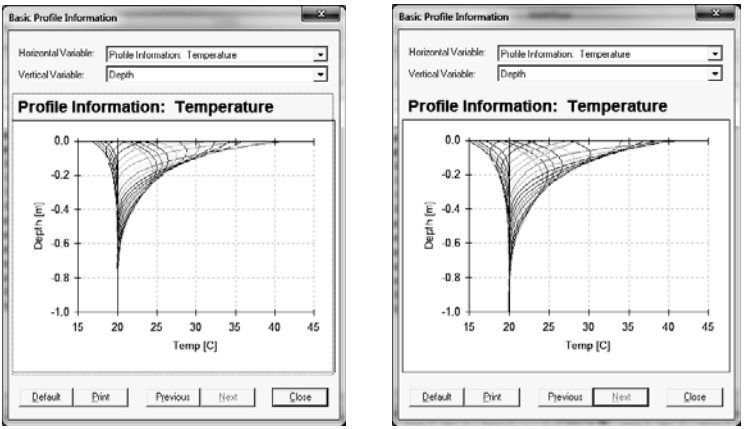
а)



б)

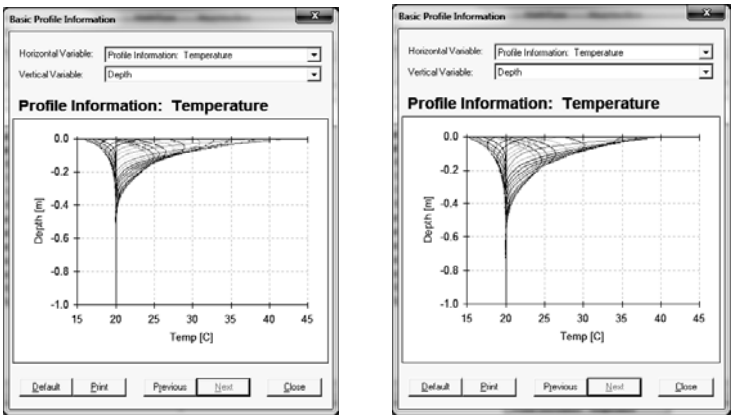
Рис. 4. Задание ТФП эталонного материала глина:
а – выбором из каталога HYDRUS-1D;
б – с использованием справочных значений ТФП

Результаты моделирования распределения температурных полей в эталонных материалах представлены на графиках (рис. 5, 6).



а) *б*)

Рис. 5. Пространственное распределение температурных полей в эталонном материале песок:
а – выбором из каталога HYDRUS-1D;
б – с использованием справочных значений ТФП



а) *б*)

Рис. 6. Пространственное распределение температурных полей в эталонном материале глина:
а – выбором из каталога HYDRUS-1D;
б – с использованием справочных значений ТФП

Выводы. Таким образом, рассмотрен альтернативный вариант задания ТФП различных материалов в программной среде HYDRUS-1D, позволяющий использовать справочные значения ТФП материалов. В ходе расчета были получены пространственные распределения температур на поверхности и вглубь эталонных материалов в течение суток. Сравнительный анализ графиков пространственного распределения температурных полей в эталонных материалах (рис. 5, 6), заданных двумя различными вариантами (рис. 3, 4), показал их идентичность (относительная погрешность составила менее 10%), что свидетельствует о достоверности описанного варианта задания ТФП материалов и возможности его практического применения в программной среде HYDRUS-1D. Приведенные в работе исследования позволяют значительно расширить область применения рассматриваемого программного продукта, что делает возможным применение его при решении задачи классификации объектов дистанционного мониторинга, состоящих из однослойных и многослойных структур различных классов материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (*грант № 18-08-00053А*).

Список литературы

1. Šimůnek, J., The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. Version 3.0 / J. Šimůnek, M. Th. van Genuchten, M. Šejna. – California: Preprint Department of environmental sciences university of California riverside, 2005. – P. 270.

2. Saito, H. Numerical analyses of coupled water, vapor and heat transport in the vadose zone / H. Saito, J. Šimůnek, B. Mohanty // Vadose Zone J. – 2006. – N 5 – P. 784 – 800.

3. Способ классификации стационарных и квазистационарных объектов по данным динамических инфракрасных изображений, получаемых комплексами с беспилотными летательными аппаратами / И. Н. Ищук, А. М. Филимонов, Е. А. Степанов, К. В. Постнов // Радиотехника. – 2016. – № 10. – С. 145 – 151.

4. Способ классификации объектов оптико-электронными системами разведки на основе обработки многоспектрального кубоида изображений / И. Н. Ищук, Е. А. Степанов, А. А. Бебенин, Д. Д. Дмитриев, А. М. Филимонов // Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: Техника и технологии. – 2017. – Т. 10, № 2. – С. 183 – 190.

5. Корреляционная обработка кубоида инфракрасных изображений, получаемых с беспилотных летательных аппаратов. Ч. 1. Моделирование и обработка инфракрасных сигнатур техногенных объектов в процессе суточного изменения температур / И. Н. Ищук, Ю. Ю. Громов, К. В. Постнов, Е. А. Степанов, В. Н. Тяпкин // Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: Техника и технологии. – 2016. – № 3. – С. 310 – 318.

RESEARCH ON APPLICATION SOFTWARE HYDRUS-1D IN THE PROBLEM OF THERMAL TOMOGRAPHY

I. N. Ishchuk[1], D. D. Dmitriev[2], A. A. Dolgov[1], A. A. Bebenin[1]
[1]Military Educational Research Centre of Air Force "Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin", Voronezh
[2]Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Abstract. The article presents the research of the software environment HYDRUS-1D in solving the direct problem of thermal conductivity for different materials under conditions of natural heat exchange with the environment. The results of experimental testing of the task of thermophysical parameters of materials taken as reference, various options and their comparative analysis are presented.

Keywords: thermophysical parameters, thermal conductivity, heat capacity, volumetric heat capacity, density, software.

References

1. Šimůnek, J., The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. Version 3.0 / J. Šimůnek, M. Th. van Genuchten, M. Šejna. – California: Preprint Department of environmental sciences university of California riverside, 2005. – P. 270.

2. Saito, H. Numerical analyses of coupled water, vapor and heat transport in the vadose zone / H. Saito, J. Šimůnek, B. Mohanty // Vadose Zone J. – 2006. – N 5 – P. 784 – 800.

3. Method of classification of stationary and non-stationary objects according to the dynamic infrared images obtained complexes with unmanned aerival vehicles / Ishchuk I. N., Filimonov A. M., Stepanov E. A., Postnov K. V. // Radiotekchnika. – 2016. – N 10. – P. 145 – 151.

4. The method of classification of objects by electro-optical intelligence systems on the basis of processing of multispectral images of the cuboid / I. N. Ishchuk, E. A. Stepanov, A. A. Bebenin, D. D. Dmitriev, A. M. Filimonov // Journal of Siberian Federal University Engineering and Technology. – 2017. – T. 10, N 2. – P. 183 – 190.

5. Correlation processing of infrared image cuboid, obtained from unmanned aerial vehicles. Part 1. Modeling and processing of infrared signatures of manmade objects in the process of daily temperature change / I. N. Ishchuk, Yu. Yu. Gromov, K. V. Postnov, E. A. Stepanov, V. N. Tyapkin // Journal of Siberian Federal University Engineering and Technology. – 2016. – N 3. – P. 310 – 318.

УДК 504.068.43:2

КОМПЛЕКСНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Н. А. Крюкова, А. В. Павлович
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж
kna2002_79@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены основные методические подходы к оценке состояния городских систем. Проведена оценка модели городской системы и проанализирована концепция устойчивого развития при формировании городских агломераций. Предложен комплексный подход к городским образованиям, как целостным системам для рационального и эффективного городского природопользования.

Ключевые слова: проблемы безопасности, городская система, концепция устойчивого развития, эффективность, городское природопользование.

Экологическая безопасность региона определяется оценкой состояния городских систем и зависит от многих факторов, таких как количество средств и объем мероприятий, направляемых на природоохранную деятельность городских систем. Механизм экологизации – это сложная система институтов экологического регулирования, управления и контроля, посредством которой осуществляется рациональное использование и воспроизводство природно-ресурсного потенциала, оценки состояния городской системы (ведущий уровень понятия качества, комфортности и здоровья среды) в свете концепции устойчивого развития.

В настоящее время в городах Российской Федерации можно наблюдать нерациональное использование земель, причиной которого являются новые социально-экономические условия, ухудшение экологических условий и ряд других причин. В связи с этим меняются требования к управлению земельными ресурсами городов, изменения относятся и к территориальному планированию, градостроительному проектированию и городскому природопользованию. Рост городских систем и снижение качества городской среды создают необходимость пересмотра системы управления городскими территориями [1].

В городских поселениях проживает около половины населения планеты, в развитых странах городское население составляет до 80…90%

от общей численности населения. По прогнозам ООН к 2035 г. доля городского населения в мире возрастет до 65%, в промышленно развитых странах она будет составлять в среднем 80%. К 2050 году около 75% жителей планеты будут проживать в гигантских мегаполисах с численностью населения более 10 – 11 млн. чел.

Таким образом, изучение городской системы как единой природно-техногенной системы и анализирование методических подходов к оценке городских систем в системе экологической безопасности региона является весьма актуальной проблемой.

Исследование теоретических источников позволило выделить основные методические подходы к изучению городских систем, среди которых следующие: инженерно-градостроительный, ландшафтно-геохимический и ландшафтно-географический подходы. Основные положения территориального планирования, ландшафтоведения и градостроительства аккумулируются в инженерно-градостроительном подходе. Можно выделить три основных направления исследований городских ландшафтов:

1. Анализ влияния ландшафтов на формирование городских систем.

2. Исследование влияния городских систем на состояние и динамику природных и техногенных комплексов.

3. Формирование общей концепции городского ландшафта в свете концепции устойчивого развития.

Современные знания о влиянии природно-климатических и ландшафтных условий на возникновение, развитие и функционирование городских систем положены в основу теоретических градостроительных концепций и реализуются на практике в системе нормативной документации, методике предпроектного анализа и оценки территории, проектах территориального и пространственного развития городов. В основе теории лежит большой исторический и современный практический опыт планирования, проектирования, строительства и реконструкции городских систем в различных природно-климатических условиях [2, 3].

Ландшафтно-геохимический подход основывается на исторических исследованиях. Вследствие активного роста городских территорий и ухудшения качества городской среды происходит преобразование всех ландшафтных комплексов. Влияние на формирование ландшафтов городские системы оказывают и за пределами городской застройки.

Ландшафтно-географический подход основывается на общей геосистемной концепции городского ландшафта. Основоположник

этого подхода Ф. Н. Мильков, также большой вклад в опыт ландшафтного исследования городских систем внесли работы А. Г. Рихтера, Г. П. Миллера, Ю. Г. Тютюника, Г. Григоряна, и др. Городские системы рассматриваются в ландшафтно-географической концепции как совокупность различных ландшафтов разной степени антропогенной измененности. Необходимость разработки принципов единства структуры застроенных и незастроенных территорий лежит в основе ландшафтного географического подхода [4].

Таким образом, совокупность взаимосвязанных природных и техногенных комплексов, формирующих единую ландшафтно-техногенную систему, лежат в основе современной концепции городских систем. В функционировании и динамике городских систем ведущая роль принадлежит антропогенным системам, и они превосходят природные системы.

В модели В. Б. Калмановой рассматривается структура городской системы. Все составляющие субсистемы и подсистемы являются основополагающими, взаимосвязанными и взаимообусловленными и определяют качество городской среды и комфортность проживания населения (рис. 1). Выделяются три основных блока системы: социосистема, геосистема, техносистема. Социосистема рассматривается как совокупность населения, экономической базы и сферы жизнеобеспечения. Естественный и преобразованный ландшафты включает геосистема. Производственную, градостроительную и инфраструктурную подсистемы включает в себя техносистема. Геосистема в совокупности с техносистемой формирует природно-техногенную подсистему [2].

Большое внимание к экологическим проблемам в теории градостроения характерно для начала XXI в. Качество городской среды и комфортность проживания населения стали основополагающими понятиями для оценки городской среды. Основной концепцией формирования городских систем стала концепция устойчивого развития городских систем, в которую входят следующие основные категории: безопасность жизнедеятельности, охрана природы, общественное здоровье и экономическая эффективность. Безопасность техносферы – обеспечение экологически безопасного функционирования городских объектов. Обеспечение экологической безопасности предполагает защиту от техногенных аварий и катастроф, включая взрывы, обрушения, пожары, аварийные сбросы и выбросы токсичных веществ. В процессе практической реализации Поручения Президента РФ о разработке методики оценки качества городской среды в целях обеспечения наиболее благоприятных условий для проживания Министерством

природных ресурсов и экологии РФ ежегодно определяются экологические рейтинги крупных городов страны (табл. 1). Категории рейтинга определены с учетом прогрессивного международного опыта и рекомендаций ООН и ОЭСР по экологически сбалансированному развитию городов [5]. Таким образом, исследование научно-методологических подходов оценки состояния городских систем позволяет выделить комплексный подход к городским образованиям как целостным системам, объединяющим природные комплексы и техносферу, с ведущей ролью антропогенной деятельности. Можно сделать вывод, что концепцию устойчивого развития следует рассматривать как основной подход в изучении характера территориального развития городов, городских землепользований и городских систем в системе экологической безопасности региона.

Рис. 1. Структура городской системы [2]:
1 – потребности: материальные (обеспеченность благоустроенным жильем, сферой услуг, работой); духовные (общение, доступ к источникам информации, объектам культуры); потребность в здоровье;
2 – градообразующие и градообслуживающие составляющие;
3 – здравоохранение, жилищно-коммунальное хозяйство, транспортные услуги, образование и другие; *4* – геохимические биологические процессы

1. Экологический рейтинг городов России в 2016 г.

Категории	Лидеры	Категории	Лидеры
Воздушная среда: – выбросы типичных загрязняющих веществ на душу населения; – уровень загрязнения атмосферы; – индекс загрязнения атмосферы ($ИЗА_5$)	Лучший – Воронеж, худший – Киров	*Использование территорий*: – плотность населения; – доля природных и искусственных рекреационных территорий; – доля промышленных и неиспользуемых территорий	Лучший – Севастополь, худший – Благовещенск
Транспорт: – доступность общественного транспорта; – доля жителей, пользующихся общественным транспортом; – доля более экологичного транспорта; – среднее время поездки на работу	Лучший – Кемерово, худший – Ростов-на-Дону	*Управление воздействием на окружающую среду*: – доля субъектов хозяйствования, систематически превышающих установленные разрешения на выбросы в атмосферу; – охват субъектов региональными проверками госэконадзора	Лучший – Саранск, худший – Барнаул
Водопотребление и качество воды: – потребление воды в ЖКЗ на душу населения; – доля потерь воды в ЖКХ; – доля потерь воды для коммунального водоснабжения, не соответствующих санитарным нормативам питьевой воды	Лучший – Йошкар-Ола, худший – Петропавловск-Камчатский	*Обращение с отходами*: – образование отходов потребления на душу населения; – доля вторичного использования отходов потребления	Лучший – Брянск, худший – Барнаул
		Энергопотребление: – потребление электроэнергии в жилом секторе на душу населения; – доля потребления тепловой энергии в системах коммунального теплоснабжения	Лучший – Москва, худший – Калуга

Список литературы

1. Калманова В. Б. Город как урбогеосистема / В. Б. Калманова // Региональные проблемы. – Изд-во: Институт комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения РАН (Биробиджан), 2009. – № 12. – С. 26 – 28.

2. Нематериальное стимулирование эффективной природоохранной деятельности предприятий / Н. В. Банникова, Н. Н. Крупина, Н. А. Крюкова, В. В. Загайный // Национальные интересы: Приоритеты и безопасность. – М.: Изд-во ООО «Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ», 2016. – № 4(337). – С. 4 – 17.

COMPLEX PROBLEMS OF TECHNOSPHERE SAFETY AND RATIONALIZATION OF NATURE MANAGEMENT

N. A. Krukova, A. V. Pavlovich

Military Educational Research Centre of Air Force "Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin", Voronezh

Abstract. The problems of ecological safety and assessment urban systemsIn article the main methodical approaches to an assessment of a condition of city systems are considered. The assessment of model of city system is carried out and the concept of a sustainable development when forming city agglomerations is analysed. The integrated approach to city educations, as to complete systems for rational and effective city environmental management is offered

Keywords: city systems, methodical approaches, concept of a sustainable development, city environmental management

References

1. Kalmanova, V. B. Gorod kak urbogeosistema / V. B. Kalmanova // Regional'nye problemy. Izd-vo: Institut kompleksnogo analiza regional'nyh problem Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN (Birobidjan), 2009. – N 12. – S. 26 – 28.

2. Nematerial'noe stimulirovanie effektivnoi prirodoohrannoi deyatel'nosti predpriyatii / N. V. Bannikova, N. N. Krupina, N. A. Kryukova, V. V. Zagainyi // Nacional'nye interesy: Prioritety I bezopasnost'. – M.: Izd-vo OOO "Izdatel'ski idom FINANSY i KREDIT", 2016. – N 4(337). – S. 4 – 17.

УДК 537.3

УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА СИЛОВОЙ СЕТИ

А. А. Куриченко, А. Д. Ивлиев
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург
ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Екатеринбург

Аннотация. Рассмотрено устройство, обладающее высокой стабильностью функционирования, позволяющее дискретно с шагом 0,01 В регулировать силовое напряжение. Максимальная скорость изменения напряжения составляет 0,2 В/с.

Ключевые слова: силовая сеть, напряжение, контроллер, фазовое регулирование, тиристор.

Во многих случаях оказывается необходимым изменение напряжения на нагрузке с малой скоростью. В частности, такая проблема возникает при регулировании напряжения на нагревателе теплофизической установки при исследовании свойств веществ вблизи температур фазовых переходов.

В настоящей работе рассматривается двухфазный тиристорный регулятор с фазовым управлением [1, 2]. Высокая стабильность работы устройства и возможность плавной регулировки выходного напряжения обеспечиваются за счет оригинального блока, регулятора фазы, который собран на базе микроконтроллера ATmega16.

Работа устройства происходит следующим образом. Переменное напряжение силовой сети поступает, в частности, на двухполупериодный выпрямитель, а затем на аналоговый компаратор, который формирует короткие синхроимпульсы напряжения, следующие с частотой 100 Гц. Синхроимпульс запускает работу регулятора фазы на следующую половину периода силовой сети. В составе регулятора фазы имеется генератор импульсов частотой 16 МГц. С помощью встроенного делителя частоты из этого сигнала формируется последовательность импульсов частотой 2 МГц. В дальнейшем эта последовательность импульсов используется для формирования управляющих сигналов. Кроме того, на регулятор фазы включения поступает управляющая команда от основного компьютера, обеспечивающего согласованное функционирование всех устройств установки [3 – 5]. В соответствии с данными сигналами формируются импульсные напряжения, управ-

ляющие работой тиристоров. Компьютер регулирует темп нагрева (охлаждения), посылая с устанавливаемой экспериментатором частотой в регулятор фазы кодовые посылки (Код). Значение последнего управляет фазой включения тиристоров, и, следовательно, величиной напряжения на нагрузке. Используемые тиристоры ТО2-40 обеспечивают пропускание тока силой до 40 А.

Временной промежуток между соседними синхроимпульсами равен 9900 мкс, и, следовательно, в этот промежуток может быть помещено 19 800 импульсов частоты 2 МГц. Синхроимпульс запускает таймер/счетчик Т1 микроконтроллера ATmega16. Начиная с этого момента таймер/счетчик Т1 производит счет импульсов частоты 2 МГц. Получившееся число сравнивается в регистрах сравнения А и В таймера/счетчика Т1 с числами (Кодами), сформированными на основании команды компьютера, управляющего работой устройства. При достижении равенства происходит формирование сигналов, управляющих работой тиристоров. Изменение кода на единицу приводит к изменению выходного напряжения примерно на 0,01 В.

Устройство формирует разнополярные импульсы тока, поступающие в нагрузку. Изменение числовых значений в регистрах счетчика Т1 микроконтроллера от 0 до 19 000 регулирует скважность импульсов тока, благодаря чему эффективные напряжения на нагрузке изменяются в пределах от 10 до 200 В. Закон регулирования задается с помощью компьютера и может быть различным в зависимости от решаемых задач. В нашем случае реализованы следующие законы: монотонный подъем (снижение) выходного напряжения и поддержание неизменного значения выходного напряжения. В случае, когда происходит возрастание напряжения, устанавливается ограничение максимального выходного Кода. В режиме понижения напряжения минимальное значение Кода равно нулю. При необходимости зафиксировать величину выходного напряжения Код устанавливается неизменным, микроконтроллер при этом поддерживает неизменной фазу включения тиристоров.

Максимальная скорость, с которой может изменяться выходное напряжение, составляет 0,2 В/с, минимальная – 0,001 В/с. Стабильность выходного напряжения определяется стабильностью сетевого напряжения. Созданное устройство может использоваться в качестве источника тока при решении многочисленных задач в приборостроении и силовой энергетике.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (*гранты № 11-08-00275 и 14-08-00228*).

Список литературы

1. Справочник по радиоэлектронным устройствам. В 2-х томах / под ред. Д. П. Линде. – М.: Энергия, 1978. – Т. 2. – 328 с.

2. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: справочник / Г. С. Найвельт, К. Б. Мазель, Ч. И. Хусаинов и др. – М.: Радио и связь, 1985. – 576 с.

3. Ивлиев, А. Д. Метод температурных волн в теплофизических исследованиях / А. Д. Ивлиев // Теплофизика высоких температур. – 2009. – Т. 47, № 5. – С. 771 – 792.

4. Высокостабильный модулятор теплового излучения установки для измерения теплофизических характеристик материалов / О. А. Векшина, И. М. Векшин, А. А. Куриченко, А. Д. Ивлиев // Измерительная техника. – 2010. – № 6. – С. 42 – 45.

5. Усилитель сигнала от преобразователя колебаний температуры поверхности образца / И. М. Векшин, О. А. Векшина, А. А.Куриченко, А. Д. Ивлиев // Измерительная техника. – 2012. – № 11. – С. 26 – 28.

DEVICE FOR VOLTAGE REGULATION AC POWER LINE

A. A. Kurichenko, A. D. Ivliyev
Ural State Mining University Ekaterinburg
Russian State Vocational-Pedagogical University, *Ekaterinburg*

Abstract. A device with a high stability of functioning is considered, which allows to regulate the power voltage discretely in steps of 0.01 V. The maximum rate of change of voltage is 0.2 V/s.

Keywords: power network, voltage, controller, phase regulation, thyristor.

References

1. Handbook of electronic devices. In 2 volumes / ed. D. P. Linde. – M.: Energy, 1978. – V. 2. – 328 p.

2. Sources of power for electronic equipment. Reference book / G. S. Nayvelt, K. B. Mazel, Ch. I. Khusainov, etc. – M.: Radio and communication, 1985. – 576 p.

3. Ivliyev, A. D. Method of temperature waves in thermophysical investigations / A. D. Ivliyev // High Temperature. – 2009. – V. 47, N 5. – P. 771 – 792.

4. A highly stable thermal radiation modulator for equipment for measuring the thermal characteristics of materials / O. A. Vekshina, I. M. Vekshin, A. A. Kurichenko, A. D. Ivliev // Measurement Techniques. – 2010. – N 6. – P. 42 – 45.

5. An amplifier of the signal from a converter of the temperature oscillations of the surface of an object / I. M. Vekshin, O. A. Vekshina, A. A. Kurichenko, A. D. Ivliev // Measurement Techniques. – 2012. – N 11. – P. 26 – 28.

УДК 518.6, 536.6

АЛГОРИТМ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО СЛЕЖЕНИЯ ЗА НАЗЕМНЫМ ТЕПЛОВЫМ ОБЪЕКТОМ

А. В. Парфирьев, Е. А. Степанов, О. С. Вышлов
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж
keeperate@mail.ru

Аннотация. Разработан алгоритм автоматического сопровождения беспилотного летательного аппарата на последовательности изображений на основе корреляционной фильтрации для повышения эффективности ведения объективного контроля.

Ключевые слова: корреляционный анализ, двумерное дискретное преобразование Фурье, объективный контроль, цифровая обработка изображений.

Беспилотный летательный аппарат (БЛА) за последние пять лет получил широкое применение в задачах поиска полезных ископаемых, воздушной разведки, а также специальных задачах федеральных органов и практически поставил на второй план пилотируемую авиацию. Это связано с обеспечением безопасности полетов по сохранению жизни и здоровья экипажей, сокращении обслуживающего персонала и техники [1]. Однако, как и в пилотируемой авиации, не исключены ситуации повреждения, крушения и потери БЛА как по вине бортовой аппаратуры управления, так и экипажа. Бóльшая часть подобных ситуаций приходится на момент посадки БЛА на полосу как с использованием бортового оборудования, так и совместно со штатными средствами посадки аэродрома.

Основными причинами повреждения БЛА в таких случаях может послужить некачественная подготовка экипажей. Для повышения эффективности ведения объективного контроля предлагается использовать систему автоматического сопровождения БЛА на последовательности изображений с использованием оптико-электронных средств (ОЭС), работающих в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн.

Постановка задачи. Для реализации автоматического сопровождения БЛА необходимо осуществить его поиск на изображении. В свою очередь, поиск БЛА является методом цифровой обработки, который позволит отслеживать траекторию его движения на последовательности изображений и определить координаты БЛА на двумерной плоскости [2]. Это позволит определить длины проекций (сигналы

рассогласования) на оси абсцисс и ординат линии, соединяющей начало системы координат в центре изображения с точкой геометрического центра найденного фрагмента (рис. 1).

Сопровождение БЛА в автоматическом режиме с использованием ОЭС включает два этапа.

Поиск и сопровождение БЛА на последовательности изображений. Данный способ применяется для поиска и сопровождения БЛА на последовательности изображений при использовании стационарной ОЭС, установленной на взлетно-посадочной полосе в стороне от линии курса.

Использование корректирующего устройства. Данный способ предполагает использование корректирующего устройства на базе пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора, удерживающего БЛА на визирной оси путем вращения вала двух бесколлекторных двигателей (сервоприводов) в зависимости от поступающих сигналов рассогласования, изменяющих курсовой угол и угол места ОЭС.

Обнаружение координат БЛА на изображении. Обнаружением координат БЛА является нахождение таких позиций на изображении, которые максимально соответствуют заданной маске (шаблону) для поиска.

Маска формируется в момент инициализации путем захвата БЛА окном слежения или обученными автоматическими или полуавтоматическими алгоритмами. На рисунке 2 представлен момент выбора маски с использованием окна слежения. В данном случае за начало координат на двумерной плоскости размером $X \times Y$ пикселов берется левый верхний угол изображения. Координаты вектора смещения указывают на расположение левого верхнего угла маски размером $S \times P$ пикселов.

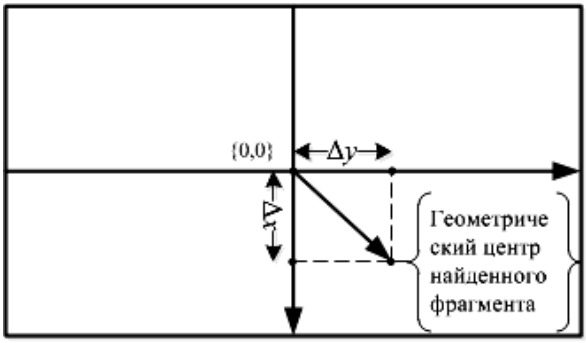


Рис. 1. Локальная система координат на двумерной плоскости

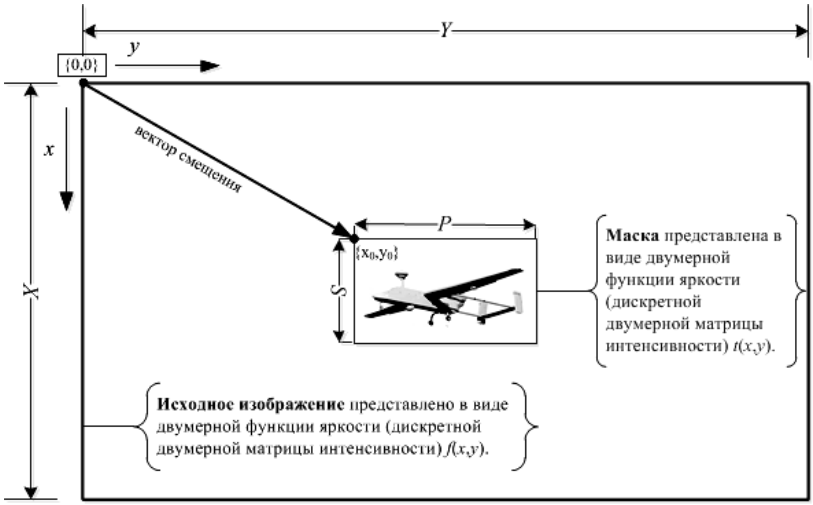


Рис. 2. Инициализация обучающего изображения (маски)

Из большого числа методов и алгоритмов сопровождения объектов в автоматическом режиме выбран корреляционный метод обработки цифровых изображений [1].

Корреляционный метод основывается на приписывании градациям классификационных переменных численных значений так, чтобы максимизировать некоторый функционал (максимизации коэффициента корреляции).

По определению взаимной корреляцией двух двумерных массивов чисел (изображения и маски) является выражение [3]

$$R_{ft}(x,y) = \sum_{i=0}^{S-1}\sum_{j=0}^{T-1} f\left(x+i, y+j\right)\cdot t\left(i,j\right), \qquad (1)$$

где f – матрица интенсивностей пикселов исходного изображения по серой шкале (рис. 3, *а*); t – матрица интенсивностей пикселов маски по серой шкале (рис. 3, *б*), $t < f$; S и P – высота и ширина маски соответственно (рис. 2).

На рисунке 3, *а* представлено исходное изображение беспилотного летательного аппарата «Форпост», а на рис. 3, *б* – маска, на основе которой осуществляется поиск и определение координат схожего фрагмента на исходном изображении.

а)

б)

Рис. 3. Исходные изображения БЛА (*а*) «Форпост» и маски (*б*)

Используя формулу (1) для вычисления корреляции между фрагментами изображений, применяются элементы пересекающихся частей. Результатом вычисления по формуле (1) является матрица отклика фильтра, максимальный элемент которой указывает на координату центрального пиксела шаблона. Для экономии ресурсов вычислительных систем осуществляется поиск максимума целевой функции (корреляции), основанный на численных методах решения линейных оптимизационных задач [4 – 8].

Рассмотренный подход, заключающийся в вычислении корреляции по формуле (1) для всех точек изображения, требует очень высоких временны́х затрат и ресурсов вычислительной системы особенно для масок большого размера, что на практике в системах реального

масштаба времени не находит своего применения. Поэтому целесообразно использовать алгоритмы, основанные на применении быстрого дискретного преобразования Фурье [9 – 12].

В работе разработан алгоритм обнаружения БЛА с использованием корреляционного метода обработки цифровых изображений, исходя из следствия теоремы о свертке и на основе дискретного двумерного преобразования Фурье [1, 13, 14]. Алгоритм заключается в реализации следующей последовательности действий.

Инициализация обучающего изображения. Инициализация маски, по которой будет осуществляться поиск фрагмента на исходном изображении, показано на рис. 2. Размер окна слежения выбирается таким образом, чтобы число строк и столбцов было нечетным.

Смещение сигнала шаблона. Осуществляется путем вычитания из каждого значения пиксела среднего значения по всей области шаблона (математического ожидания). В результате этого сумма всех элементов будет равна нулю. Если этого не сделать, то максимум корреляционной матрицы будет указывать не на положение шаблона на исходном изображении, а на наиболее яркие области на ней.

Расширение исходного изображения f и маски t до размеров $\hat{x} \times \hat{y}$, где $\hat{x} = X + S - 1$, а $\hat{y} = Y + P - 1$ (см. рис. 2). Исходное изображение и маска расширяются путем помещения их в левые верхние углы, при этом свободные элементы нового изображения дополняются нулями, как показано на рис. 4, *а*, *б*.

Вычисление матрицы интенсивностей пикселов. В качестве меры «близости» изображения и шаблона используется следующая формула, являющаяся следствием теоремы корреляции [1, 13]:

$$R_{ft}(\hat{x}, \hat{y}) = F^{-1}\left\{F\left[f\left(\hat{x}, \hat{y}\right)\right] \otimes F^{*}\left[t\left(\hat{x}, \hat{y}\right)\right]\right\}, \qquad (2)$$

где F^{-1} – оператор быстрого обратного двумерного дискретного преобразования Фуре; F – оператор быстрого прямого двумерного дискретного преобразования Фурье; F^{*} – оператор комплексно-сопряженного числа; $\otimes$ – оператор поэлементного умножения.

Вычисление коэффициента пиковой силы PSR (Peak to Sidelobe Ratio) по формуле [14 – 16]:

$$\aleph = \frac{R_{ft\max} - \mu_{R_{ft}}}{\sigma_{R_{ft}}}, \qquad (3)$$

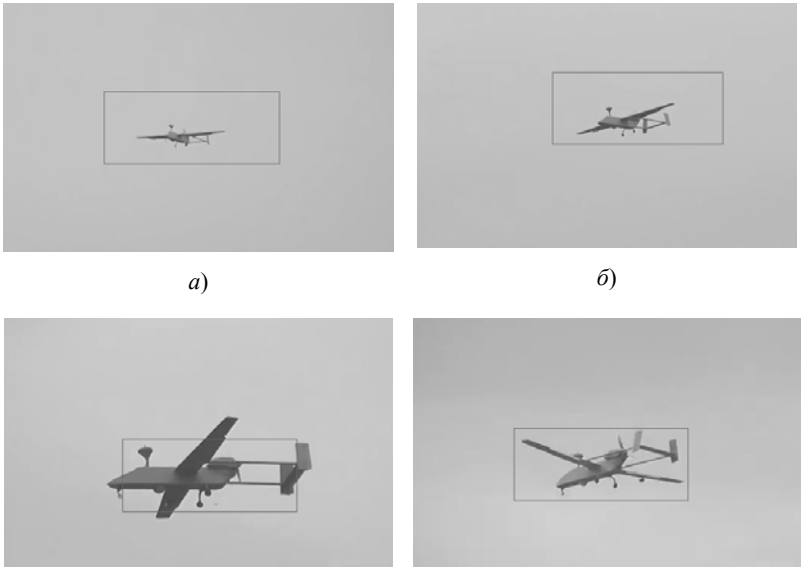
где $\aleph$ – коэффициент PSR; $R_{ft\max}$ – максимальное значение в матрице интенсивностей пикселов (2); $\mu_{R_{ft}}$ – математическое ожидание; $\sigma_{R_{ft}}$ – стандартное отклонение.

а)

б)

Рис. 4. Результат расширения исходного изображения (*а*) и маски (*б*)

В результате проведенных исследований было установлено, что коэффициент PSR в нормальных условиях отслеживания находится в диапазоне от 1,5 до 2,6, что указывает на стабильное сопровождение объекта разработанным алгоритмом. В случае, если коэффициент пиковой силы опускается ниже 1,3, значит происходит перекрытие объекта внешними предметами или выход объекта за пределы кадра [17 – 20].



а) *б*)

в) *г*)

Рис. 5. Результат поиска БЛА на последовательности изображений с использованием одного шаблона

Определение координат БЛА на изображении (рис. 5). Координаты максимального элемента $[x_0, y_0]$ в матрице интенсивностей пикселов (2) при допустимых значениях коэффициента пиковой силы (3) определяют вектор сдвига левого верхнего угла шаблона относительно точки с координатами [0, 0] (рис. 2) [20].

Обновление маски для обучения алгоритма. С течением времени БЛА может часто менять внешний вид путем вращения, масштаб, перемещаться в разных условиях освещения или совсем пропасть из зоны видимости [21, 22]. В таком случае алгоритм цифровой обработки должен быстро адаптироваться для нормального процесса отслеживания. Адаптация алгоритма к таким изменениям заключается в обновлении маски, по которой осуществляется поиск фрагмента на исходном изображении. В процессе обучения используется метод скользящего среднего [14, 23]

$$T_i^* = \eta T_i^* + (1-\eta) T_{i-1}^* , \qquad (4)$$

где η – скорость обучения. Данный подход позволяет предать больший весовой коэффициент последующим кадрам и создает эффект затуха-

ния предыдущих кадров. На практике было обнаружено, что η = 0,15 позволяет шаблону быстро адаптироваться к изменениям внешнего вида.

Для повышения эффективности работы алгоритма в работе рассмотрен метод корреляционной фильтрации с минимальной выходной суммой квадратичной ошибки.

Метод корреляционной фильтрации с минимальной выходной суммой квадратичной ошибки. Для сокращения времени на обработку входящей видеопоследовательности применяется метод корреляционной фильтрации с минимальной выходной суммой квадратичной ошибки (Minimum Output Sum of Squared Error – MOSSE) [6]. Данный метод предполагает вычисление корреляции, используя специальный фильтр $H(\hat{x},\hat{y})$, вместо образа шаблона $T(\hat{x},\hat{y})$. Специальный фильтр минимизирует квадратичное отклонение идеального отклика $G(\hat{x},\hat{y})$ при расчете корреляции.

Идеальный отклик формируется с использованием частотного фильтра Гаусса, который осуществляет размытие изображения (убирает нижние частоты) по закону нормального распределения, Нормальное распределение для двух измерений описывается следующей формулой [24, 25]:

$$G(u,v)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}e^{-\frac{\left(x^2+y^2\right)}{2\sigma^2}},$$

где $x^2+y^2=r^2$ – радиус размытия; σ – стандартное отклонение распределения Гаусса.

Данная формула задает поверхность, имеющую вид концентрических окружностей с нормальным распределением от центральной точки. Пикселы, где распределение отлично от нуля, используются для построения матрицы свертки, которая применяется к исходному изображению. Значение каждого пиксела становится средневзвешенным для окрестности. Исходное значение пиксела принимает наибольший вес (имеет наивысшее Гауссово значение), и соседние пикселы принимают меньшие веса, в зависимости от расстояния до них [24].

Первая компонента фильтра рассчитывается путем поэлементного умножения коэффициентов распределения Гаусса на комплексно-сопряженное входное изображение в частотной области.

Вторая компонента фильтра рассчитывается путем поэлементного умножения входного изображения на его комплексно-сопряженное в частотной области. В связи с этим специальный фильтр $H(\hat{x},\hat{y})$ рассчитывается следующим образом [25]:

$$H(\hat{x},\hat{y}) = \frac{\sum_i G_i(\hat{x},\hat{y}) \otimes T_i^*(\hat{x},\hat{y})}{\sum_i T_i(\hat{x},\hat{y}) \otimes T_i^*(\hat{x},\hat{y})}, \quad (5)$$

где $G_i(\hat{x},\hat{y}) = F(g_i)$ – желаемые отклики при расчете корреляции, которые в пространственной области имеют вид распределения Гаусса с центром в заданном месте на изображении, $T_i(\hat{x},\hat{y})$ – образ маски, $T_i^*(\hat{x},\hat{y})$ – комплексно-сопряженное число.

При этом поиск объекта осуществляется на основании вычисления функции [6]

$$R_{ft}(\hat{x},\hat{y}) = F^{-1}\left\{F(\hat{x},\hat{y}) \otimes H(\hat{x},\hat{y})\right\}. \quad (6)$$

Исследование показало, что при нормальных условиях сопровождения, значение результата вычисления по формуле (3) варьируется между 20,0 и 60,0. Это указывает на стабильное сопровождение объекта. Снижение коэффициента пиковой силы (3) ниже 7,0 свидетельствует о потере объекта.

Применение метода корреляционной фильтрации с минимальной выходной суммой квадратичной ошибки позволяет стабильно отслеживать БЛА с использованием одной маски. Алгоритм, основанный на методе корреляционной фильтрации с минимальной выходной суммой квадратичной ошибки, является устойчивым к изменениям масштаба, освещения, положения в пространстве и деформации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (*грант № 18-08-00053А*).

Список литературы

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1071 с.

2. Алпатов, Б. А. Системы автоматического обнаружения и сопровождения объектов / Б. А. Алпатов. – М.: Радиотехника, 2008. – 175 с.

3. Ахмед, Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Н. Ахмед, К. Р. Рао; пер. с англ. – М.: Связь, 1980. – 248 с.

4. Аббасов, М. Э. Методы оптимизации: учебное пособие / М. Э. Аббасов. – СПб.: ВВМ, 2014. – 64 с.

5. Глинченко, А. С. Цифровая обработка сигналов: учебное пособие / А. С. Глинченко: в 2-х ч. – Красноярск: Изд-во КГТУ, 2001. – Ч. 1. – 199 с.

6. Корн, Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973.

7. Грузман, И. С. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебное пособие / И. С. Грузман. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 168 с.

8. Лукин, А. Введение в цифровую обработку сигналов (математические основы) / А. Лукин. – М.: МГТУ, 2007. – 54 с.
9. Курячий, М. И. Цифровая обработка сигналов: учебное пособие для вузов / М. И. Курячий. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2009. – 190 с.

ALGORITHMS FOR THE AUTOMATIC TRACKING OF GROUND THERMAL OBJECT

A. V. Porfiriev, E. A. Stepanov, O. S. Vishlov
Military Training and Research Center of the Air Force
"*Air Force Academy. Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin*",
Voronezh
keeperate@mail.ru

Abstract. In this paper, an algorithm for automatic tracking of an unmanned aerial vehicle on a sequence of images based on correlation filtering is developed to improve the efficiency of objective control.

Keywords: correlation analysis, two-dimensional discrete Fourier transform, objective control, digital image processing.

УДК 518.6, 536.6

СПОСОБ КОНТРОЛЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А. В. Парфирьев, Е. А. Степанов, О. С. Вышлов
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж

Аннотация. Описаны особенности обработки инфракрасных изображений при посадке беспилотных летательных аппаратов самолетным способом. Разработана схема обработки динамических инфракрасных изображений и контроля навигационных параметров при заходе на посадку летательных аппаратов. Произведена оценка потенциальной точности предложенного метода определения навигационных параметров.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, инфракрасный диапазон, сегментация изображений, обработка изображений, динамическая регистрация, автоматическое сопровождение.

В последнее время беспилотные летательные аппараты (БЛА) все активнее используются наряду с пилотируемыми самолетами в различных сферах боевого применения авиации, включая нанесение ракетно-бомбовых ударов и радиоэлектронное противодействие средствам противника. Управление БЛА осуществляется на основе данных ГЛОНАСС и GPS [1]. Однако, как показывает опыт боевых действий, эти системы можно легко «подавить». В этом случае для определения местоположения БЛА в воздухе должны использоваться другие системы, к ним можно отнести: радиолокационные системы дальней навигации, радиотехнические системы ближней навигации, радиолокационные станции обзора воздушного пространства, радиолокационные системы посадки. Однако эти системы не обладают достаточной точностью, необходимой для посадки БЛА на аэродром.

Требуемую точность определения навигационных параметров БЛА, заходящих на посадку, обеспечивают системы с видимым и инфракрасным диапазоном волн. Использование видимого диапазона волн для контроля посадки БЛА неэффективно, так как в сложных погодных условиях (дождь, туман, снег) дальность действия таких систем резко уменьшается до сотен метров. Системы инфракрасного (ИК) диапазона волн лишены этих недостатков, поэтому для контроля БЛА, заходящего на посадку в автоматическом режиме, предлагается использовать ИК-диапазон волн.

Постановка задачи. Для контроля БЛА, заходящего на посадку в автоматическом режиме, необходимо найти способ обработки динамических изображений в зоне посадки, обеспечивающий автоматическое сопровождение.

Под зоной посадки будем понимать объем пространства вокруг заданной линии посадки (курс, глиссада) в пределах 8° по углу места и 6° по азимуту (рис. 1). Экспериментальные данные были получены с телевизионного прибора, формирующего потоковое видео с разрешением 640×480 пикселей, частотой кадров 10 кадров в секунду и углом зрения 8,3° по азимуту и 6,2° по углу места. Спектральный диапазон прибора 7,5…13,5 мкм. Потенциальная точность данного прибора составляет менее 1 мин по углу места и азимуту.

На определение местонахождения БЛА существенное влияние будет оказывать наличие местных предметов и малоподвижных метеообразований, а также зависящие от дальности геометрические размеры изображения БЛА.

В настоящее время существует множество способов обработки изображений в системах динамической регистрации объектов [1–4], которые позволяют обнаружить движущиеся объекты, вычислить их геометрические размеры, определить скорость и направление движения.

Сегментация изображений в таких системах сводится к определению фона от объекта, т.е. разделению изображения на части и выделению необходимого элемента. Эти способы подвержены многочисленным ложным срабатываниям из-за неравномерного фона, незначительной разницы в контрастности между фоном и объектом, наличия большого количества скачков яркости и большому количеству пропуска цели из-за малых геометрических размеров БЛА в обрабатываемом изображении. При решении автоматического контроля за посадкой БЛА необходимо учитывать эти особенности.

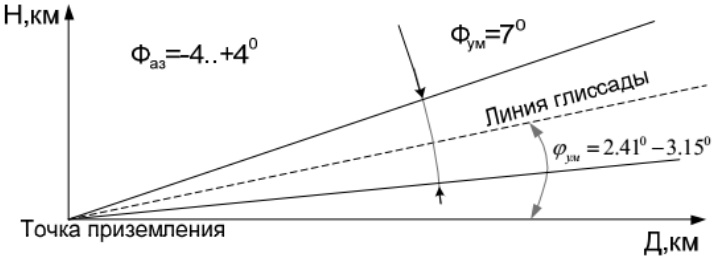


Рис. 1. Зона обзора при посадке БЛА

Современные способы обработки изображений наиболее полно представлены в библиотеках машинного зрения, поэтому для решения поставленной задачи будем использовать объектно-ориентированный язык программирования C# и кросс-платформенного .NET – дополнения для компьютерной библиотеки машинного зрения OpenCV (Emgu CV).

Алгоритмическая схема метода контроля БЛА, заходящего на посадку. Для осуществления контроля навигационных параметров при посадке БЛА самолетным способом предлагается UML-диаграмма последовательности применения алгоритмов компьютерного зрения библиотеки OpenCV для решения задач обработки динамических ИК-изображений, представленная на рис. 2.

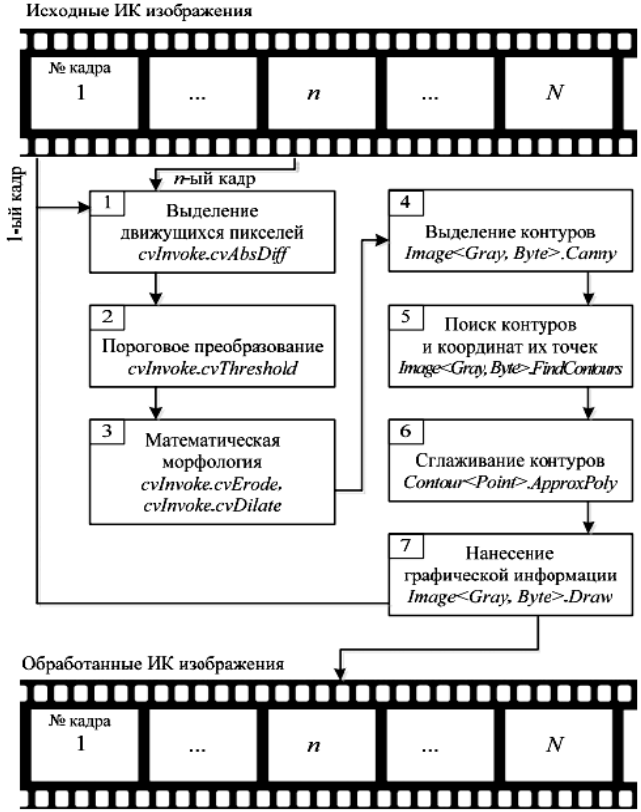


Рис. 2. UML-диаграмма последовательности применения алгоритмов компьютерного зрения:
n – текущий кадр; *N* – последний кадр

Для решения поставленной задачи определена последовательность действий над исходными ИК-изображениями, заключающаяся в выделении движущихся пикселей, применении порогового преобразования и функций математической морфологии, алгоритмов выделения, поиска и сглаживания контуров, а также функций нанесения дополнительной графической информации.

Для выделения движущихся пикселей воспользуемся формулой вычисления разницы по модулю между двумя растрами полутоновых изображений:

$$A[i,\ j] = \| S_1[i,\ j] - S_n[i,\ j] \|, \qquad (1)$$

где $S_1[i,\ j]$ – первый исходный растр; $S_n[i,\ j]$ – n-й исходный растр; $A[i,\ j]$ – результирующий растр; i, j – координаты точки на растре.

Приведенное действие реализовано функцией *cvAbsDiff* компьютерной библиотеки OpenCV. Данная функция эквивалентна системе селекции движущихся целей, используемой для обработки радиолокационного сигнала.

Для подавления собственного шума приемника исходный растр изображения преобразуется в бинарный черно-белый растр по пороговому значению сигнала (фильтр порогового преобразования). Для этого в рассматриваемой компьютерной библиотеке имеется функция *cvInvoke.cvThreshold*. Преобразование растра изображения (1) осуществляется в соответствии со следующим выражением:

$$T[i,\ j] = \begin{cases} 225, \text{ если } A[i,\ j] > \Delta k_t; \\ 0, \quad \text{если } A[i,\ j] \le \Delta k_t, \end{cases} \qquad (2)$$

где Δk_t – пороговое значение, $\Delta k_t \in [0, 255]$.

Величина порога k_t должна выбираться в зависимости от среднего значения яркости исходного растра.

Растры изображения получены в результате применения приведенных двух функций (рис. 3).

Для подавления остаточного шума тепловизионного приемника применяются функции математической морфологии – эрозия (*cvInvoke.cvErode*) и расширение (*cvInvoke.cvDilate*). В основе базовых операций математической морфологии для бинарных изображений лежат операции из теории множеств. Формально они могут быть определены следующим образом:

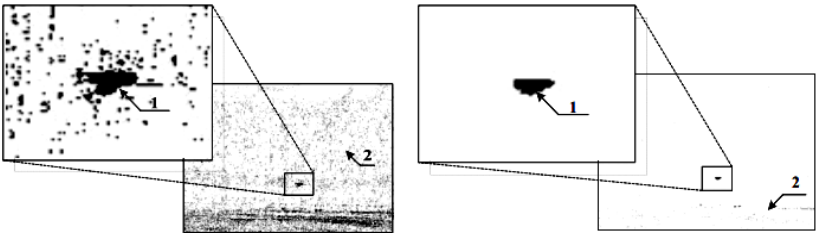
$$E(T,\ B) = T \oplus B = \bigcap_{\beta \in B} (T\beta), \quad D(T,\ B) = T \oplus B = \bigcap_{\beta \in B} (T + \beta), \qquad (3)$$

где T – растр изображения, полученного на предыдущем шаге; B – структурирующий элемент; β – пиксель структурирующего элемента;

$E(T, B)$ – результирующий растр после воздействия операцией эрозии; $D(T, B)$ – результирующий растр после воздействия операцией расширения. Действие операции эрозии заключается в уменьшении площади объекта, расширения – наоборот, в ее увеличении. Величина и способ изменения площади объекта зависят от выбора структурирующего элемента.

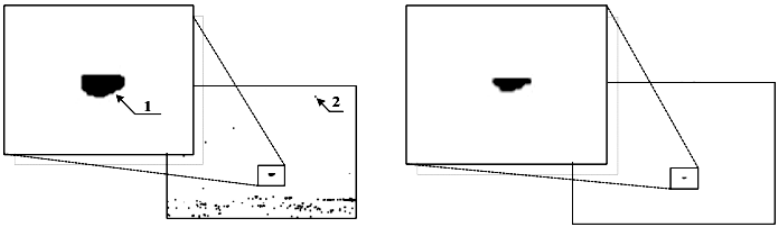
Результат применения данных двух функций со значениями структурирующего элемента 3×3 для эрозии и расширения представлен на рис. 4.

После применения функций математической морфологии собственные шумы тепловизионного приемника на изображении не наблюдаются (рис. 4), а величина полезного сигнала визуально практически не изменилась. Определение типа объекта на изображении осуществляется путем проведения анализа формы его контура.



а) *б*)

Рис. 3. Растры изображения, полученные в результате применения вычисления разницы по модулю (*а*) и фильтра порогового преобразования (*б*):
1 – собственный шум тепловизионного приемника; *2* – полезный сигнал (БЛА)



а) *б*)

Рис. 4. Растры изображения в результате применения функций математической морфологии – эрозии (*а*) и расширения (*б*):
1 – собственный шум тепловизионного приемника;
2 – полезный сигнал (БПЛА)

Выделение контуров на изображении основано на скачкообразном изменении значения яркости. Для этого предлагается использовать детектор границ, реализованный в функции Image<Gray,Byte>.Canny, который обеспечивает повышение значения отношения сигнал–шум, правильное определение положения границ контура и единственный отклик на одну границу [2, 3].

Структура применяемого алгоритма выделения контуров представлена на рис. 5.

Сглаживание изображения. Для удаления шума на изображении применяется алгоритм сглаживания изображения на основе фильтра Гаусса с ядром 5×5 элементов [2, 3]:

$$L = \frac{1}{159}\begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Поиск градиентов. Для вычисления приближенного значения градиента яркости изображения используется оператор Собеля [5]. Результатом применения оператора Собеля в каждой точке изображения является либо вектор градиента яркости в этой точке, либо его норма. Магнитуда градиента для пикселя с координатами (*i*, *j*) находится по формуле

$$\left|G^{y}\right| = \sqrt{\left(G_x^y\right)^2 + \left(G_y^y\right)^2}, \quad (4)$$

где $G_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$, $G_y = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$. Направления градиентов округляются до одного из возможных значений – 0°, 45°, 90°, 135°.

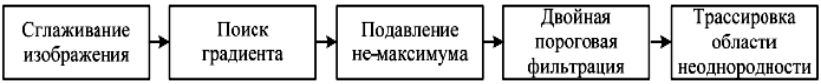


Рис. 5. Структура применяемого алгоритма

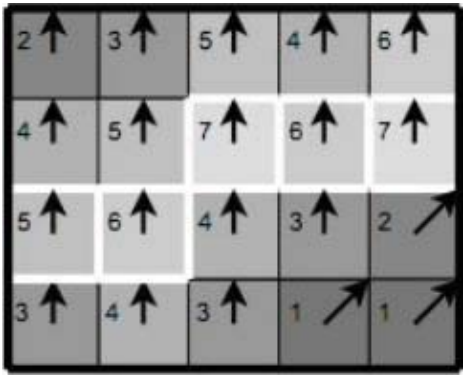


Рис. 6. Принцип подавления не-максимумов

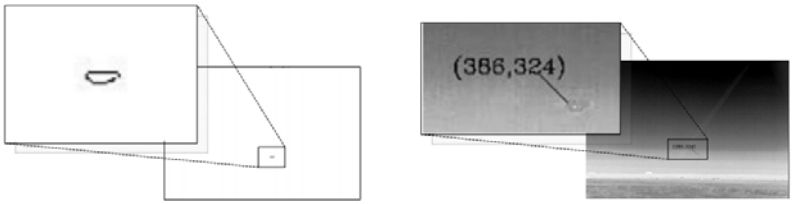
Следующим шагом служит процедура подавления не-максимумов [2, 3]. Пикселями границ объявляются пиксели, в которых достигается локальный максимум градиента в направлении вектора градиента. Значение направления должно быть кратно 45°. Принцип подавления проиллюстрирован на рис. 6 [2, 3].

Двойная пороговая фильтрация. Выделяются «сильные» и «слабые» ребра. Пиксели, интенсивность которых превышает максимальный порог, считаются пикселями, принадлежащими «сильным» ребрам. Принимается, что пиксели с интенсивностью, входящей в интервал от минимального до максимального порогового значения, принадлежат «слабым» ребрам. Пиксели, интенсивность которых меньше минимального порога, отбрасываются из дальнейшего рассмотрения. Результирующие ребра содержат пиксели всех «сильных» ребер и те пиксели «слабых» ребер, чья окрестность содержит хотя бы один пиксель «сильных» ребер.

Трассировка области неоднозначности. Сводится к выделению групп пикселей, отнесенных к границе контура изображения. Результат применения алгоритма Canny показан на рис. 7, *а*.

Для поиска контуров и координат их точек воспользуемся алгоритмом поиска границ Suzuki-Abe [4], реализованным в OpenCV функцией Contour<Point>.FindContours. Результатом применения данного алгоритма является множество контуров, каждый из которых представляется множеством точек.

Для уменьшения числа точек кривой, описывающей контур, применяется алгоритм Дугласа–Пекера [6], основанного на аппроксимации большей серией точек. Данный алгоритм реализован функцией Contour<Point>.ApproxPoly.



а) *б*)

Рис. 7. Результат применения алгоритма Canny

Для нанесения на исходное изображение необходимых элементов, навигационных данных, а также любой дополнительной информации применяется функция Image<Gray,Byte>.Draw, входящая в информационный пакет компьютерной библиотеки OpenCV [5, 7]. Результат применения предложенного метода показан на рис.7, *б*.

Таким образом, на основе проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод о том, что предложенная схема обработки ИК-изображений позволяет обнаружить и автоматически сопровождать БЛА при заходе на посадку. При этом точность определения координат по азимуту и углу места составила 1 мин. При известной дальности до БЛА точность определения высоты не превысит 2 м, что в 3 раза лучше требований, предъявляемых к аэродромам первой категории, и в десятки раз лучше военных систем посадки. Однако с помощью предложенного метода не получилось обнаружить БЛА на дальностях свыше 6 км и находящегося в зоне метеообразований. Увеличение дальности обнаружения и точности определения координат возможно, если использовать тепловизионный прибор с большим разрешением, при разрешении прибора 1920×1080 точность повысится в 3 раза.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (*грант № 18-08-00053А*).

Список литературы

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1071 с.

2. Алпатов, Б. А. Системы автоматического обнаружения и сопровождения объектов / Б. А. Алпатов. – М.: Радиотехника, 2008. – 175 с.

3. Ахмед, Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Н. Ахмед, К. Р. Рао; пер. с англ. – М.: Связь, 1980. – 248 с.

4. Аббасов, М.Э. Методы оптимизации: учеб. пособие / М. Э. Аббасов. – СПб.: ВВМ, 2014. – 64 с.

5. Глинченко, А. С. Цифровая обработка сигналов : учеб. пособие: в 2-х ч. Ч. 1 / А. С. Глинченко. – Красноярск: Изд-во КГТУ, 2001. – 199 с.

6. Корн, Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973.

THE WAY OF THE CONTROL OF NAVIGATING PARAMETERS AT LANDING APPROACH UNMANNED AERIAL VEHICLE

A. V. Parfiriev, E. A. Stepanov, O. S. Vishlov

Military Educational Research Centre of Air Force "Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin", Voronezh

Abstract. Features of processing of infra-red images Are described at planting of pilotless flying machines by plane way. The scheme of processing of dynamic infra-red images and the control of navigating parametres is developed at landing approach of flying machines. The estimation of potential accuracy of the offered method of definition of navigating parametres is made.

Keywords: a pilotless flying machine, an infra-red range, segmentation of images, processing of images, dynamic registration, automatic support.

References

1. Gonsales, R. Cifrovaya obrabotka izobragenij / R. Gonsales, R. Vuds. – M.: Technosfera, 2005. – 1071 p.

2. Alpatov, B. A. Sistema avtomaticheskogo obnarugenija I soprovogdenija objectov / B. A. Alpatov. – M.: Radiotehnika, 2008. – 175 p.

3. Ahmed, N. Ortogonal'nie preobrazovanija pri obrabotke cifrovih signalov / N. Ahmed, K. R. Rao; per. S angl. – M.: Svjaz', 1980. – 248 p.

4. Abbasov, M. E. Medodi optimizacii: ucheb. posobie / M. E. Abbasov. – SPb.: VVM, 2014. – 64 p.

5. Glinchenko, A. S. Cifrovaya obrabotka signalov: ucheb. posobie: v 2 ch. Ch. 1 / A. S. Glinchenko. – Krasnojarsk: Izd-vo KGTU, 2001. – 199 p.

6. Korn, G. Spravochnik po matematike / G. Korn, T. Korn. – M.: Nauka, 1973.

УДК 004.93

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ МЕТАНОВЫХ ПЛЮМОВ

Н. А. Рамон, А. В. Пендер, С. С. Шебуняева
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов

Аннотация. Уделяется внимание опыту использования гиперспектрального анализа с применением роботизированных комплексов для обеспечения безопасности при эксплуатации производственных объектов нефтегазовой промышленности.

Ключевые слова: гиперспектральные камеры, техническое зрение, концентрация газов в воздухе, нефтегазовый спектр, ИК-спектроскопия.

На сегодняшний день существует несколько методов обнаружения скрытых утечек углеводородного топлива: фотоионизационный, ИК-спектроскопия, радиоактивный, метод подповерхностного зондирования, акустической эмиссии, лазерный газоаналитический, оптико-абсорбционный, электрохимический и др.

Оптико-абсорбционный метод обнаружения метана по тепловым инфракрасным гиперспектральным изображениям является одним из самых точных и перспективных. Сущность метода заключается в способности молекул метана избирательно поглощать инфракрасное излучение в ближнем и среднем диапазонах спектра (полосы поглощения соответствуют 3,2…3,4 мкм и 7,2…8,5 мкм).

Гиперспектральные камеры обнаружения оптических газов позволяют в режиме реального времени, точно и безопасно идентифицировать метан/природный газ, углеводороды, SF_6, а также другие промышленные газы и химические соединения. Скрытые для невооруженного глаза утечки газа в инфракрасных камерах обнаружения оптических газов рассматриваются как дым, что упрощает их визуализацию и позволяет применять системы технического зрения. Оптические камеры быстро охватывают широкую область спектра инфракрасного излучения и помогают обнаружить утечки в труднодоступных местах.

Метан легче воздуха, поэтому он поднимается к потолку в закрытом помещении, но на открытом пространстве поднимается в ат-

Рис. 1. Гиперспектральная камера фирмы “GreenEye” [1]

мосферу намного медленнее, чем другие газы, составляющие воздух, что облегчает его обнаружение инфракрасными камерами. При этом необходимо, чтобы средства контроля позволяли обнаруживать довзрывные частицы метана в воздухе. Минимальная концентрация газа в воздухе, из которого может возникнуть взрыв, если он соприкасается с источником воспламенения, называемый нижней границей воспламеняемости метана и составляет 4,4%.

Гиперспектральные камеры оснащены датчиками, способными воспринимать сотни длин волн внутри и снаружи видимого спектра, что позволяет генерировать более точные изображения.

Опыт, проведенный с источниками CH_4, был произведен в испытательном центре Rocky Mountain Oil Testing Center (RMOTC), Каспер, WY (США). Эти источники были сконфигурированы для обеспечения разнообразных типов выбросов (поверхностных и подземных), а также различных скоростей, характерных для естественных просачиваний и антропогенных утечек CH_4 из трубопроводов. Для регистрации метана использовался датчик SEBASS (пространственно-расширенный широ-

Рис. 2. Спектральные виды места наблюдения и графики в соответствии с газовой эмиссией. [Methane plume detection SEBASS]

кополосный матричный спектрограф), который позволял формировать гиперспектральные тепловые инфракрасные данные на экспериментальном участке с 128 полосами, охватывающими диапазон 7,6…13,5 мкм. Данные получали с пространственным разрешением 0,5 м и 0,84 м соответственно для высот 450 и 760 м над уровнем земли. Изображения были предварительно обработаны с адаптацией алгоритма In-Scene Atmospheric Compensation и преобразованы в излучательную способность через алгоритм нормализации. Результаты позволили выделить сигнатуры CH_4 (полосы поглощения при 7,69 мкм и 7,88 мкм) и отобразить на изображениях с высоким разрешением газовые шлейфы. Дисперсия отображенных плюмов согласовалась с направлением ветра, измеренным независимо во время эксперимента. Размеры отображенных газовых плюмов были пропорциональны скорости излучения каждого источника CH_4.

Анализ экспериментов, произведенных в Соединенных Штатах Америки, позволяет считать целесообразным использовать предложенную технологию с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), многоцелевых беспилотных транспортных средств, способных автономно поддерживать контролируемый и устойчивый уровень полета и приводиться в движение двигателем (электрическим, реактивным или внутреннего сгорания).

При этом БПЛА должен быть оснащен высококачественными гиперспектральными камерами с чувствительностью на линиях погощения CH_4 и передатчиками сигналов для анализа результатов на земле в реальном времени.

Резюмируя вышеизложенное, выделим преимущества систем данного типа:

1) отсутствие топливных трат для беспилотных летательных аппаратов, поскольку они используют солнечную энергию и батареи;

2) при подключении БЛА в реальном времени к базе управления и обработки изображений, стабильность сигнала выше, а ошибки устраняются с большой точностью и эффективностью;

3) бесконтактные датчики, действующие на расстоянии, предоставляют возможность продолжать мониторинг области даже при воспламенении метана.

При обработке изображений на базовой станции возможно обрабатывать изображения в режиме реального времени с использованием технологий NIVISION.

Список литературы

1. Rebecca Del' Papa Moreira Scafutto * and Carlos Roberto de Souza Filho, Detection of Methane Plumes Using Airborne Midwave Infrared (3 – 5 μm) Hyperspectral Data. Remote Sens. – 2018, 10(8), 1237; doi:10.3390/rs10081237.

2. Hulley, G. C.; Duren, R. M.; Hopkins, F. M.; Hook, S. J.; Johnson, W. R.; Eng, B. T.; Mihaly, J. M.; Jovanovic, V. M.; Chazanoff, S. L.; Staniszewski, Z. K. High spatial resolution imaging of methane and other trace gases with the airborne Hyperspectral Thermal Emission Spectrometer (HyTES). Atmos. Meas. Tech. – 2016, 9, 2393.

APPLICATION OF THERMAL INFRARED HYPERSPECTRAL IMAGES FOR DETECTION OF GROUND METHANE PLUMES

N. A. Ramón, A. V. Pender, S. S. Shebuniaeva
Tambov State Technical University, *Tambov*

Abstract. The report focuses on the experience of using hyperspectral analysis with the use of robotic systems to ensure safety in the operation of production facilities of the oil and gas industry.

Keywords: hyperspectral cameras, technical vision, concentration of gases in the air, oil and gas spectrum, IR spectroscopy.

УДК 536.71

РАСЧЕТ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ АЗОТА, КИСЛОРОДА И ИХ СМЕСЕЙ В ДВУХФАЗНОЙ ОБЛАСТИ ЖИДКОСТЬ–ПАР

В. И. Ряжских, А. А. Хвостов, А. А. Журавлев
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж

Аннотация. Представлены интерполяционные многочлены для аппроксимации зависимости удельной теплоемкости азота и кислорода в двухфазной области жидкость–пар в зависимости от температуры насыщения.

Ключевые слова: разделение воздуха, ректификация, азот, кислород, фазовое равновесие, интерполяция, удельная теплоемкость.

Наиболее распространенным способом получения чистых азота и кислорода является способ низкотемпературной ректификации атмосферного воздуха, проводимый в ректификационных колоннах. При этом, ввиду незначительного содержания в воздухе инертных газов, разделяемый воздух рассматривается как бинарная смесь, состоящая из азота и кислорода [1, 2].

На линии насыщения удельная теплоемкость азотно-кислородных смесей в жидком $c_{ж}$ (кДж/кг·К) и парообразном состоянии $c_{п}$ (кДж/кг·К) пропорциональна теплоемкости чистых компонентов, составляющих смесь, и их концентрации в смеси [2]

$$c_{ж} = x_1 c_{ж1} + x_2 c_{ж2}\,; \tag{1}$$

$$c_{п} = y_1 c_{п1} + y_2 c_{п2}\,, \tag{2}$$

где x_1, x_2 – соответственно, массовая доля азота и кислорода в жидкой смеси; $c_{ж1}$ и $c_{ж2}$ – соответственно, удельная теплоемкость жидкого азота и кислорода, кДж/кг·К; y_1, y_2 – соответственно, массовая доля азота и кислорода в парообразной смеси; $c_{п1}$ и $c_{п2}$ – соответственно, удельная теплоемкость паров азота и кислорода, кДж/кг·К.

Имеющиеся литературные данные о теплоемкости чистых азота и кислорода в двухфазной области жидкость–пар в зависимости от температуры (давления) насыщения зачастую противоречивы, представлены в различных единицах измерения и для весьма узких диапазонов варьирования давления и температуры, что усложняет их анализ, обобщение и использование для автоматизированных вычислений

[3 – 6]. Предложенные рядом авторов аналитические зависимости сложны по своей форме и содержат большое количество эмпирических коэффициентов. Некоторые из предлагаемых уравнений предусматривают только численное решение по итерационным алгоритмам [5 – 8].

В этой связи для вычисления удельной теплоемкости азота, кислорода и их смесей при моделировании и оптимизации процессов низкотемпературной ректификации целесообразным является использование интерполяционных уравнений в виде многочленов *k*-го порядка, которые имеют простую структуру, довольно просто реализуются на ЭВМ и, одновременно с этим, обеспечивают приемлемую точность вычисления.

Для построения интерполяционных многочленов, аппроксимирующих зависимость удельной теплоемкости азота и кислорода в двухфазной области жидкость–пар в зависимости от температуры насыщения использовали литературные данные [4 – 6] (рис. 1, 2). В качестве интерполяционного многочлена принят многочлен *k*-го порядка

$$\widetilde{y}_k(x) = a_0 + \sum_{j=1}^{k} a_j x^j = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \ldots + a_{k-1} x^{k-1} + a_k x^k \,, \qquad (3)$$

где k – степень многочлена; j – порядковый номер степени многочлена; a_j – коэффициент многочлена степени k ($j = 0, \ldots, k$); x – температура, К; $\widetilde{y}_k(x)$ – удельная теплоемкость продукта, кДж/кг·К.

Коэффициенты интерполяционного многочлена *k*-го порядка (3) определяли методом наименьших квадратов (МНК).

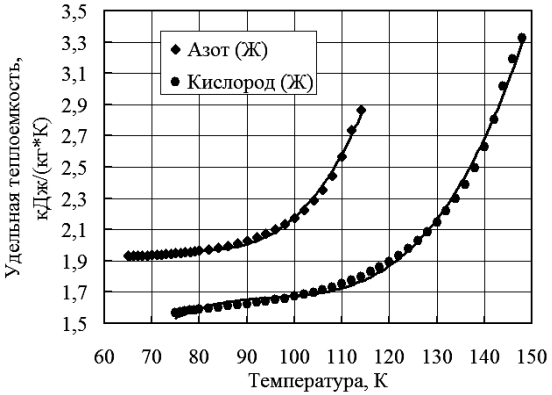


Рис. 1. Зависимость удельной теплоемкости жидкого азота и кислорода от температуры насыщения [4 – 6]

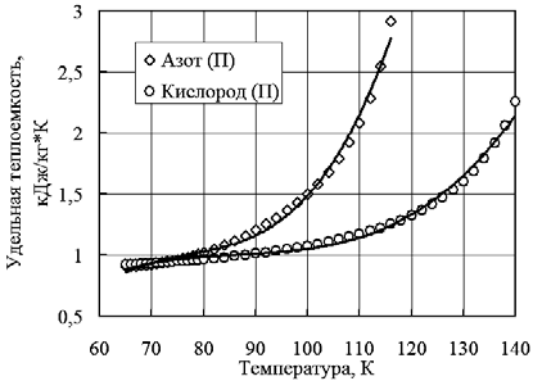


Рис. 2. Зависимость удельной теплоемкости парообразного азота и кислорода от температуры насыщения [4 – 6]

Расчеты показали (рис. 3), что увеличение степени аппроксимирующего многочлена (3) приводит к уменьшению величины остаточной дисперсии и снижению критерия Фишера. При степени многочлена $k = 3$ и выше различия между остаточными дисперсиями оказываются статистически незначимыми. Примем для расчета удельной теплоемкости азота и кислорода в парообразном и жидком состояниях интерполяционную формулу в виде многочлена 3-го порядка

$$c = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3, \qquad (4)$$

где c – удельная теплоемкость продукта, кДж/кг·К; T – температура насыщения, К; a_0, a_1, a_2, a_3 – эмпирические коэффициенты (табл. 1).

Значения ошибок расчета не превысили 7,7 %. Коэффициент парной корреляции составил 0,995.

1. Значения коэффициентов уравнения (4)

Продукт	a_0	a_1	a_2	a_3
Аж	–6,6194	0,3275	–0,0042	0,000018
Кж	–7,7012	0,2903	–0,003	0,00001
Ап	–11,074	0,4529	–0,0058	0,000021
Кп	–3,5288	0,1523	–0,0017	0,0000069

Примечания: Аж, Кж – соответственно, азот и кислород жидкий; Ап, Кп – соответственно, азот и кислород парообразный.

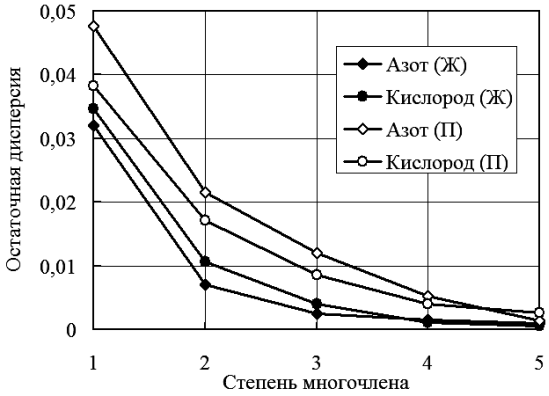


Рис. 3. Зависимость остаточной дисперсии от степени многочлена (3)

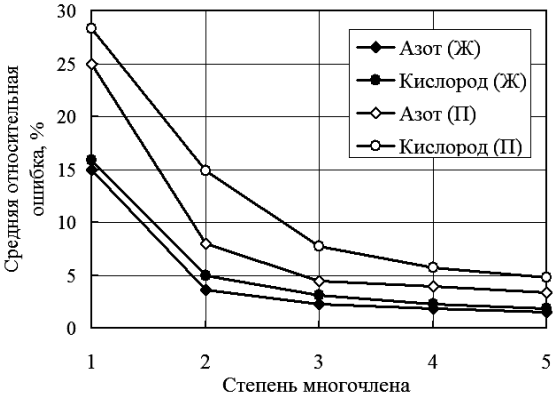


Рис. 4. Зависимость средней относительной ошибки аппроксимации от степени многочлена (3)

Состав жидкой и паровой фаз азотно-кислородной смеси может быть рассчитан на основании объединенного закона Рауля–Дальтона по известной концентрации одного из компонентов и балансовым соотношениям [2, 7]:

$$y_1 = \frac{\alpha_{12} x_1}{1 + (\alpha_{12} - 1) x_1}; \quad x_1 = \frac{y_1}{\alpha_{12} - (\alpha_{12} - 1) y_1}; \quad \sum_{i=1}^{n} x_i = 1; \quad \sum_{i=1}^{n} y_i = 1, \qquad (5)$$

где α_{12} – коэффициент относительной летучести, зависящий от давления P в ректификационной колонне [9]

$$\alpha_{12} = 4{,}09 \cdot (10{,}197P)^{-0{,}2719}. \quad (6)$$

Связь между давлением насыщенных паров азота и кислорода и температурой насыщения имеет вид уравнения Антуана [10]

$$\ln P_{01} = 6{,}7358 - \frac{698{,}22}{T}; \quad \ln P_{02} = 7{,}0771 - \frac{846{,}26}{T}, \quad (7)$$

где T – температура насыщения, К; P_{01}, P_{02} – соответственно, давление насыщенных паров азота и кислорода, МПа.

Температура насыщения азотно-кислородной смеси заданного состава может быть рассчитана по уравнению Дальтона [2], которое, с учетом (7), имеет вид [11]

$$842{,}0168 \exp\left(-\frac{698{,}22}{T}\right) x_1 + 1184{,}528 \exp\left(-\frac{846{,}26}{T}\right)(1 - x_1) = P, \quad (8)$$

здесь учтено, что $x_2 = 1 - x_1$.

Представленные математические соотношения были реализованы на ЭВМ в виде подпрограммы расчета удельной теплоемкости смесей азота и кислорода в двухфазной области жидкость–пар в зависимости от температуры насыщения при моделировании тепломассобменных процессов, протекающих испарителе и на контактных устройствах воздухоразделительной установки [12, 13].

Список литературы

1. Наринский, Г. Б. Ректификация воздуха / Г. Б. Наринский. – М.: Машиностроение, 1978. – 248 с.
2. Комиссаров, Ю. А. Химическая технология: научные основы процессов ректификации: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1 / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во Юрайт, 2018. – 270 с.
3. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей / Р. Рид, Дж. Прауснитц, Т. Шервуд. – Л.: Химия, 1982. – 592 с.
4. Теплофизические свойства криопродуктов / Л. А. Акулов, Е. И. Борзенко, В. Н. Новотельнов, А. В. Зайцев. – СПб.: Политехника, 2012. – 243 с.
5. Термодинамические свойства азота / В. В. Сычев, А. А. Вассерман, А. Д. Козлов и др. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 352 с.
6. Термодинамические свойства кислорода / В. В. Сычев, А. А. Вассерман, А. Д. Козлов и др. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 312 с.
7. Борзенко, Е. И. Установки и системы низкотемпературной техники. Автоматизированный расчет и моделирование процессов криогенных установок и систем / Е. И. Борзенко, А. В. Зайцев. – СПб.: СПбГУНиПТ, 206. – 232 с.
8. Борзенко, Е. И. Расчет теплофизических свойств криопродуктов на линии насыщения с повышенной точностью / Е. И. Борзенко, А. В. Зайцев, Н. В. Кудашова // Научный журнал СПбГУНиПТ. – 2011. – № 2. – С. 2 – 5.

9. Модель фазового перехода в испарителе кубовой жидкости ректификационной колонны воздухоразделительной установки при переменных теплофизических характеристиках / В. И. Ряжских, А. А. Хвостов, А. В. Ряжских, А. А. Журавлев, С. Г. Тихомиров // Математическое моделирование и информационные технологии в инженерных и бизнес-приложениях: сб. матер. Междунар. науч. конф. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2018. – С. 273 – 284.

10. Расчет давления насыщенных паров криопродуктов по экспериментальным данным / В. И. Ряжских, А. А. Хвостов, А. А. Журавлев, А. В. Ряжских // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении: сб. науч. ст. 3-й Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск: ЮЗГУ, 2018. – С. 293 – 296.

11. Уравнение кипения бинарных смесей азота, кислорода и аргона / А. А. Хвостов, А. А. Журавлев, А. А. Богер, Д. И. Целюк // Качество в производственных и социально-экономических системах: сб. науч. тр. 6-й Междунар. науч.-техн. конф. Юго-Зап. гос. ун-т.: в 2-х т. Т. 2. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2018. – С. 237 – 239.

12. Модель испарителя кубовой жидкости ректификационной колонны воздухоразделительной установки с переменными теплофизическими характеристиками / В. И. Ряжских, А. А. Хвостов, А. А. Журавлев, А. В. Ряжских, О. А. Семенихин; под общ. ред. А. А. Большакова // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. Междунар. науч. конф.: в 12 т. Т. 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. – С. 92 – 95.

13. Математическая модель массообмена на контактных устройствах воздухоразделительной установки / А. А. Хвостов, В. И. Ряжских, А. А. Журавлев, И. А. Казьмин, А. А. Никитченко; под общ. ред. А. А. Большакова // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. Междунар. науч. конф.: в 12 т. Т. 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. – С. 102 – 105.

CALCULATION OF SPECIFIC HEAT OF NITROGEN, OXYGEN AND THEIR MIXTURES IN THE TWO-PHASE LIQUID–VAPOR AREA

V. I. Ryazhskih, A. A. Khvostov, A. A. Zhuravlev
Military Educational Research Centre of Air Force "*Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin*", *Voronezh*

Abstract. Interpolation polynomials are Presented to approximate the specific heat of nitrogen and oxygen in the two-phase liquid–vapor region as a function of the saturation temperature.

Keywords: air separation, rectification, nitrogen, oxygen, phase equilibrium, interpolation, specific heat.

УДК 536.432.12.45

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОПОРОШКОВ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

М. М. Сафаров[1], М. М. Гуломов[2], М. А. Зарипова[3], Х. Х. Ойматова[4], М. А. Абдуллоев[5], К. Б. Саидзода[5], Р. Дж. Давлаатов[5], К. Н. Розыков[5], Ш. Р. Сафаров[4], Ш. О. Яхьяев[1]

[1]Филиал МГУ имени М. В. Ломоносова в г. Душанбе, Таджикистан
mahmad1@list.ru
[2]Технический колледж ТТУ имени академика М. С. Осими, Душанбе, Таджикистан
masrur.gulomov.88 @ mail.ru
[3]Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими, Душанбе, Таджикистан
mohira.zaripova @ mail.ru
[4]Курган-тюбинский государственный университет имени Носири Хусрава, Бохтар, Таджикистан
hojarmo@mail.ru
[5]Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни, Душанбе, Таджикистан
Abdulloev@mail.ru; *Kandil@mail.ru*; *rustam.Gabbor@mail.ru*; *kamoliddin@mail.ru*; *shonin@mail.ru*; *sharifjon @ mail.ru*

Аннотация. Приведены автоматизированный комплекс для расчета термодинамических характеристик и результаты компьютерного моделирования процесса теплообмена наночастиц (полигидразиды ПГ) и пищевых продуктов при различной температуре и атмосферном давлении. С помощью персонального компьютера обобщены результаты проведения эксперимента, построены графики и таблицы термодинамических характеристик (энтальпия, энтропия, внутренняя энергия, изменение энергии Гельмгольца, изменение энергии Гиббса) в зависимости от температуры при атмосферном давлении.

Ключевые слова: теплоперенос, термодинамические характеристики, полигидразиды (ПГ), пищевой продукт, атмосферное давление, температура.

Несомненный интерес для разработки новых материалов представляют высокомолекулярные соединения с фрагментами гидразина либо его производных. Установлено, что полимерные материалы, макромолекулы которых включают фрагменты гидразина или его различных производных, имеют весьма широкий и разнообразный спектр

практического использования, показывая при этом высокую стабильность к действию различных факторов окружающей среды.

Предполагается, что водные дисперсии гидразинсодержащих полиуретанов с добавками фунгицидов будут препятствовать развитию ВИЛТ (от англ. Wilt – увядание), проявляющемуся в увядании стебля и листьев сельхозрастений. Известно, что несовершенные грибы Verticilliumdahliare и Fusariumoxysporum вызывают вертицилиозный и фузариозный ВИЛТ соответственно. Вертицилиозный ВИЛТ поражает приблизительно 350 видов двухдольных растений. Сильнее всего страдает хлопчатник – основная культура Среднеазиатского региона, но страдают и сельхозкультуры региона: лен, томат, картофель, дыня, арбуз, персик, абрикос и др. Возбудитель ВИЛТА развивается в грунте, через корни проникает в растение, попадает в водопроводящую систему ксилемы, вызывая увядание надземных органов. Наиболее часто гибнет растение целиком, реже его отдельные части.

Полиуретаны на основе гидразина и его производных обладают комплексом специфических физико-химических и биологических свойств, возможностью целенаправленной структурно-химической и фазовой модификации, а также простотой оформления технологического процесса и наличием доступного сырья. Благодаря вышеперечисленным достоинствам, они являются весьма привлекательными среди великого множества высокополимеров, материалов для изготовления товаров бытового назначения (декоративно-отделочных материалов, способных к армированию, морозостойких, эластичных покрытий, резиновых изделий и синтетических тканей, а также для применения в агропромышленном комплексе). Однако для разработки процессов производства таких материалов необходимы знания об их термодинамических свойствах.

Экспериментальная установка для определения температуры плавления и термодинамических характеристик [1] приведена на рис. 1.

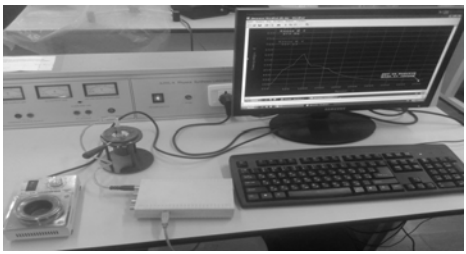


Рис. 1. Автоматизированный комплекс для исследования термодинамических характеристик веществ

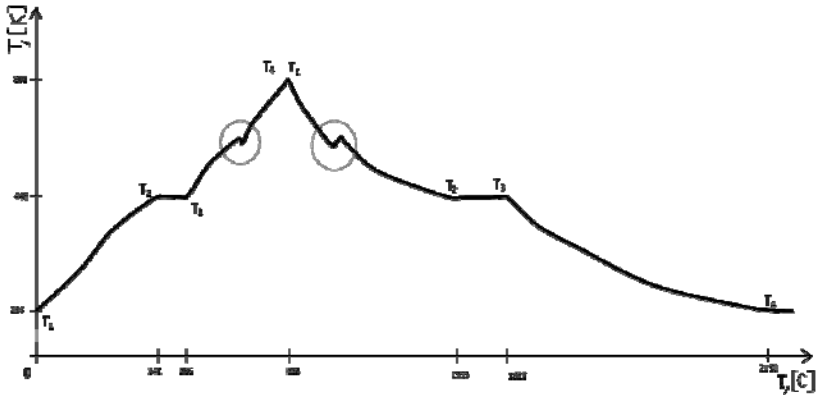


Рис. 2. Термограммы контрольного образца

Она включает в себя металлический контейнер для образцов (нанопорошков и пищевых продуктов), калориметр, систему сбора данных, а также компьютер с портами USB и подставку для охлаждения контейнера с исследуемых образцов.

Процесс экспериментального определения термодинамических характеристик полностью автоматизирован. Измерительная установка была протестирована с применением контрольных образцов из олова (рис. 2).

Калибровочные эксперименты показали возможность получения термодинамических характеристик пищевых продуктов с достаточной для дальнейшего применения точностью.

Список литературы

1. Зарипова, М. А. Теплофизические и термодинамические свойства водных растворов гидразина и фенилгидразина: монография / М. А. Зарипова, М. М. Сафаров, А. Б. Бадалов. – Душанбе: Изд.-во ООО «Хирад», 2007. – 128 с.

AUTOMATED COMPLEX FOR DETERMINATION OF THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF NANOPOWDERS AND FOOD PRODUCTS AT DIFFERENT TEMPERATURES

M. M. Safarov[1], M. M. Gulomov[2], M. A. Zaripova[3], H. H. Oymatova[4], M. A. Abdulloev[5], K. B. Saidzoda[5], R. J. Davlatov[5], B. G. Fayziev[5], K. N. Rozykov[4], S. R. Safarov[4], S. O. Yakhyaev[1]

[1]Branch Moscow State University after named M. V. Lomonosov in Dushanbe, Tajikistan

[2]Technical College of the Technical University of Tajikistan, Academician M. S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan

[3] Tajik Technical University named after Academician M. Osimi, Dushanbe, Tajikistan

[4]Kurgan-tube State University named after Nosiri Khusraw, Bokhtar, Tajikistan

[5]Tajik State Pedagogical University named after S. Ayni, Dushanbe, Tajikistan

Abstract. The paper presents an automated complex for calculating the thermodynamic characteristics and results of computer simulations of the process of heat exchange of nanoparticles and food products at different temperatures and atmospheric pressures. With the help of a personal computer, the results of the experience are generalized, graphs and tables of the thermodynamic characteristics (enthalpies, entropies, internal energies, changes in Helmholtz energy, change in Gibbs energy) are plotted as a function of temperature at atmospheric pressure.

Keywords: heat transfer, thermodynamic characteristics, nanoparticles, food, atmospheric pressure, temperature.

References

1. Zaripova, M. A. Thermophysical and thermodynamic properties of aqueous solutions of hydrazine and phenylhydrazine: monograph / M. A. Zaripova, M. Safarov, A. B. Badalov. – Dushanbe, Ed. OOO «Hired», 2007. – 128 p.

УДК 004.94

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ И ТЕПЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА

В. С. Свищо, В. О. Ильиных
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж

Аннотация. Рассмотрены возможности применения пространственных 3D-моделей местности, получаемых по данным дистанционного мониторинга с беспилотного воздушного судна, в интересах оценки пространственных распределений оптико-теплофизических свойств техногенных объектов. Представлены оценки разрешающей способности оптико-электронных датчиков беспилотного воздушного судна и результаты построения таких 3D-моделей.

Ключевые слова: 3D-модели местности, оптико-теплофизические свойства, беспилотное воздушное судно.

В настоящее время широкое распространение получили пространственные модели – 3D-модели местности, созданные средствами компьютерной графики. Это новый метод получения и представления пространственной информации об объектах местности.

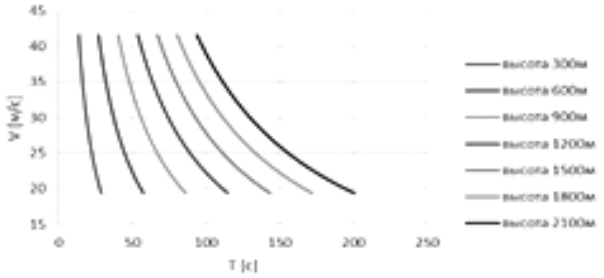
В военной сфере использование трехмерного моделирования по аэрофотоснимкам, полученным с БПЛА, необходимо для получения наглядного представления обо всех объектах противника и расположение его военной техники или войск в трехмерной системе координат. 3D-моделирование позволяет выбрать ракурс подлета ракеты к цели в случае ее расположения за объемными укрытиями (зданиями). С помощью 3D-модели можно детально рассмотреть под любым ракурсом, с любых точек отснятую местность. Кроме того, готовая 3D-модель позволяет задать систему координат и установить масштаб, а также произвести измерения объема и площади поверхностей.

Для обработки фотоматериалов и создания модели существуют некоторые требования к выполнению фотосъемки местности или объекта на ней: необходимо обеспечить перекрытие кадров в следующих цифрах: 60% поперечное и 80% продольное; объекты или участки местности должны быть отсняты с разных ракурсов, одинаково и правильно проэкспонированы.

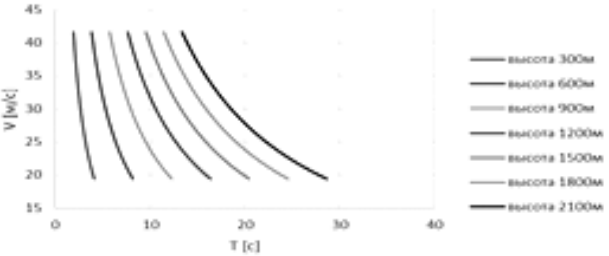
Так же съемку следует проводить в одинаковых условиях: в одно и то же время и примерно в одних и тех же погодных условиях, если съемка объекта или местности проводится более одного дня.

1. Расчет разрешающей способности камеры Canon EOS 550D

Разрешение *dx(dy)*, м/пикс	Количество пикс. по вертикали, *nx*	Количество пикс. по горизонтали, *ny*	Угол обзора камеры α, град.	Угол обзора камеры β, град.	Захват камеры *x*, м	Захват камеры *y*, м	Высота полета *Hx*, м	Высота полета *Hy*, м
0,01	5148	3456	64	45	25,92	17,28	17,13	3,63
0,02	5148	3456	64	45	51,84	34,56	34,26	19,27
0,05	5148	3456	64	45	129,6	86,4	85,66	48,19
0,5	5148	3456	64	45	1296	864	856,66	481,98
1	5148	3456	64	45	2592	1728	1713,32	963,96
1,5	5148	3456	64	45	3888	2592	2569,99	1445,95
2	5148	3456	64	45	5184	3456	3426,65	1927,93



а)



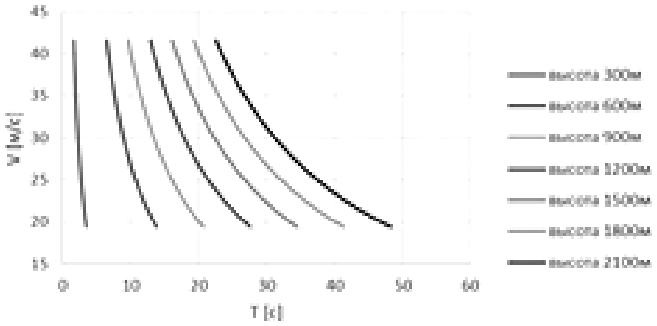
б)

Рис. 1. Расчет времени съемки кадров БПЛА «Орлан-10» для вертикального перекрытия при углах обзора в 64 град. (*а*) и 9 град. (*б*)

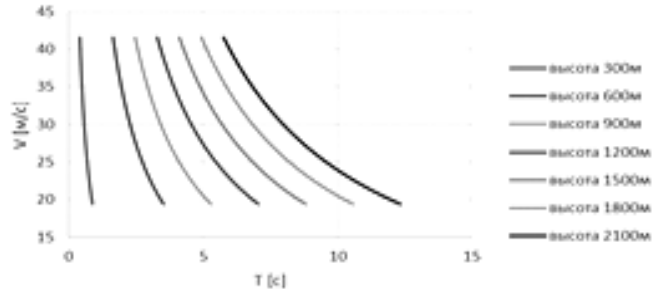
Для обеспечения необходимого перекрытия были произведены расчеты разрешающей способности объектива цифровой фотокамеры Canon EOS 550D (табл. 1), установленной в БПЛА «Орлан-10», и оптимального времени съемки одного кадра (рис. 1, 2).

Для обеспечения необходимого перекрытия оптимальным временем съемки кадров при скорости 100…120 км/ч или 27,7…33,3 м/с для высоты в от 300 до 600 м является 1 кадр в секунду; от 600 до 1200 м – 1 кадр в 2 секунды; от 1200 до 1500 м 1 кадр в 4 секунды; от 1500 до 1800 м – 1 кадр в 5 секунд; от 1800 до 2100 м – 1 кадр в 6 секунд.

Для построения 3D-модели местности нами было выбрано ПО Agisoft PhotoScan по нескольким причинам. Во-первых, у данной программы простой интерфейс, который прост в освоении за счет его русификации, кроме того, имеется развернутая инструкция по работе в программе. Так же в Agisoft имеется контроль генерации сетки при



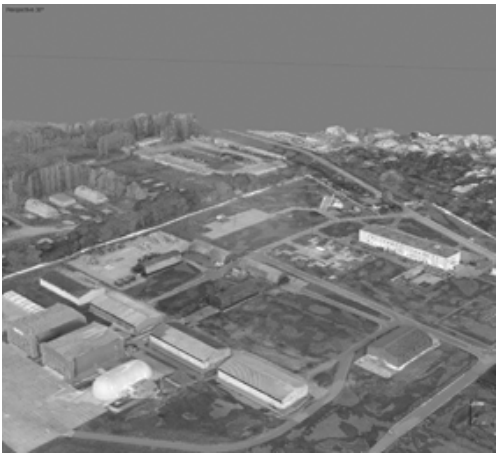
а)



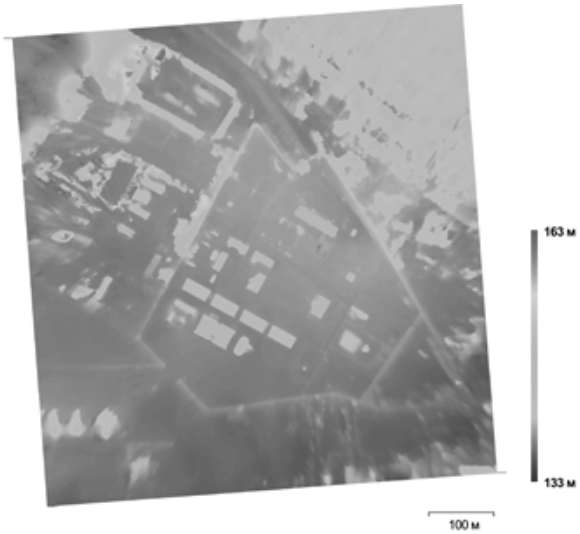
б)

Рис. 2. Расчет времени съемки кадров БПЛА «Орлан-10» для поперечного перекрытия при углах обзора в 45 град. (*а*) и 6 град. (*б*)

построении триангуляционной модели, что в дальнейшем влияет на качество экспортируемых трехмерных моделей. Помимо этого, по всем ключевым характеристикам и функционалу данная программа не уступает остальным.



а)



б)

Рис. 4. Трехмерная модель 77 УГ

В качестве экспериментальной модели была выбрана оптическая воздушная съемка 77-го учебного городка (77 УГ). Съемка производилась на высоте 300 м с разрешением в 4К. Далее полученная видеосъемка была конвертирована в отдельные кадры. При этом перекрытие кадров при наложении составляло 90%. В результате проведенной обработки полученных кадров Agisoft PhotoScan была сформирована 3D-модель 77 УГ (рис. 4, *а*) и цифровая матрица высот (рис. 4, *б*).

Анализируя полученные результаты, представленные на рис. 4, видно, что объект и территория имеют хорошую детализацию и текстуры, а оценивая трехмерную модель в целом, можно сказать, что модель получилась высококачественная. Полученная 3D-модель позволяет обеспечить командиров (начальников) наглядным представлением обо всех объектах УГ 77 и расположения ВВСТ в трехмерной системе координат. Так же полученную модель можно привязать к ГИС-системам.

Список литературы

1. Создание трехмерной модели [Электронный ресурс]. Vuzlit.ru – информ. портал. – URL: https://vuzlit.ru/320901/sozdanie_trehmernoy_modely/

2. Руководство пользователя Agisoft PhotoScan // AgiSoft LLC. – 2014. – 90 с.

3. Autodesk Reality Capture. Features [Электронный ресурс]. – URL: https://www.autodesk.com/products/recap/features

4. Pix4D. About program [Электронный ресурс]. – URL: https:// pix4d.com/product/pix4dmapper/

MODERN WAYS OF CREATING THREE-DIMENSIONAL TERRAIN MODEL AND HEAT OBJECT WITH THE USE OF DRONES

V. S. Swisha, V. O. Ilinykh

Military Training and Research Center of the Air Force
"*Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin*", *Voronezh*

Abstract. The article considers the possibility of using spatial 3D-models obtained from remote monitoring data with an unmanned flight in the interests of assessing the spatial distribution of the optical-thermal properties of man-made objects. Estimates of the permissive capabilities of optical-electronic sensors for unmanned research and the results of 3D models are presented.

Keywords: 3D terrain models, optical-thermophysical properties, unmanned aircraft.

УДК 681.783.32

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОНОВКИ ОПТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА НА БПЛА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПОЛЯ ОБЗОРА АЭРОЛАНДШАФТА И ПОИСКА ТЕПЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ

В. В. Семка, В. В. Жуган, Б. В. Семка
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж
vsiomka@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке схемы компоновки полезной нагрузки видимого диапазона БПЛА коптерного типа в целях увеличения поля обзора аэроландшафта.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, компоновка оптических систем, фотограмметрическая обработка

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) нашли широкое применение в различных сферах деятельности современного общества. Область их применения расширяется с каждым днем. Мониторинг нефтяных, газовых и электрических коммуникаций, автомобильных дорог, контроль за развитием обстановки в кризисных ситуациях – вот далеко не полный перечень направлений использования БПЛА. Кроме того, последние несколько лет показали особую значимость данных устройств в деятельности различных силовых ведомств: Министерство обороны, Пограничная и Таможенная служба, Росгвардия и т.д. Общим для всех указанных направлений является то, что информация, получаемая с помощью БПЛА, обладает такими важными качествами, как оперативность и высокая детализация. В зависимости от типа БПЛА и специфики решаемой ими задачи, он имеет различные типы полезной нагрузки, которая в большинстве случаев имеет вид оптического датчика видимого и(или) ИК-диапазона. При выполнении задачи, связанной с оптическим мониторингом местности, свойства целевой нагрузки должны иметь, с одной стороны, максимально возможное разрешение, а с другой стороны, пользователь старается охватить максимально возможную площадь, что противоречит задаче детализации.

В статье предлагается попытка технически решить вопрос создания некоторой схемы компоновки элементов полезной нагрузки для БПЛА коптерного типа, целью которой является увеличение площади

аэроландшафта одномоментно обозреваемой датчиками полезной нагрузки.

Вообще, вопрос использования БПЛА для проведения аэрофотосъемки имеет ряд существенных преимуществ перед классической аэрофотосъемкой:

– существенно более низкие затраты на приобретение, хранение и эксплуатацию летательного аппарата;

– низкая стоимость цифровых фотоаппаратов в сравнении со специализированными аэрофотосъемочными системами;

– существенное уменьшение удельной стоимости работ при съемке малых участков.

Однако имеют место и недостатки:

– меньший размер кадра приводит к необходимости получения существенно большего количества снимков, что вызывает повышение затрат на создание планово-высотного съемочного обоснования и выполнение работ по обработке материала;

– несоответствие фотограмметрического качества снимков требованиям соответствующих инструкций.

Например, съемка с БПЛА, как правило, проводится с повышенным продольным и поперечным перекрытием, что также увеличивает затраты на обработку конечного материала. Вообще же, ограниченность качества фотооборудования, применяемого на БПЛА, связана с его возможностями как носителя: грузоподъемность, скорость, высота полета, навигационные возможности. На основании указанных особенностей сформулируем требования к критически важным параметрам фотографической системы беспилотного аэрофотосъемочного комплекса. Вес фотоаппарата не должен превышать 400…450 г. В эту весовую категорию попадает класс компактных камер и новый класс компактных камер со сменными объективами. Выдержка зависит от скорости и устойчивости носителя, так как смещение фотоаппарата (линейное и угловое) приводит к сдвигу (смазу) изображения.

Задача улучшения качества аэрофотосъемки с использованием БПЛА в качестве носителя имеет несколько направлений решения. Авторами предлагается вариант изменения схемы компоновки подвеса с полезной нагрузкой, подразумевающий установку нескольких камер.

После исследования свойств и конструкции современных БПЛА в качестве носителя был выбран квадрокоптер 900 класса (рис. 1).

После детального изучения характеристик современной мобильной фото- и видеоаппаратуры основным элементом оптической нагрузки видимого диапазона была выбрана экшэн-камера GoPro 3 под названием – Ribcage (рис. 2) (с креплениями для фотообъективов c-mount).

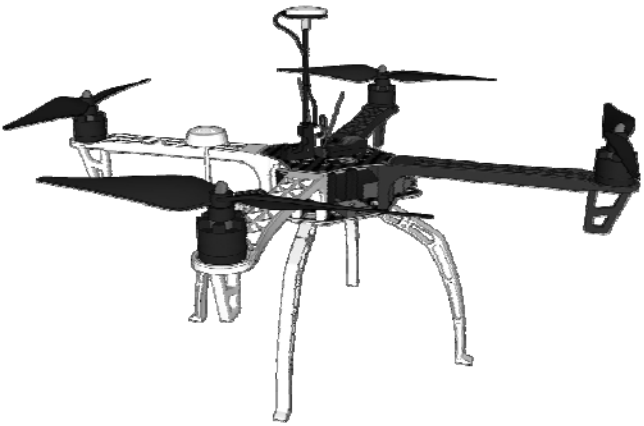


Рис. 1. Квадрокоптер 900 класса

Рис. 2. Экшэн-камера Ribcage GoPro 3

Для увеличения угла обзора аэроландшафта был выбран объектив с самым маленьким фиксированным фокусным расстоянием, так как известно, что по формуле зависимости фокусного расстояния от угла обзора, чем меньше фокусное расстояние у данного объектива, тем больший угол обзора аэроландшафта он сможет захватить

$$\alpha = 2\text{arctg}\left(\frac{d}{F}\right). \qquad (1)$$

С помощью программного обеспечения Google SketchUp была разработана объемная 3D-модель гиростабилизированной подвески из углепластика, которая крепится к квадрокоптеру и на которой предлагается разместить четыре экземпляра экшэн-камеры Ribcage GoPro 3.

Рис. 3. Гиростабилизированная платформа для крепления четырех камер

Камеры на гиростабилизированной платформе необходимо закрепить под определенным углом, чтобы получить возможность сшивки четырех изображений в одно единое целое, без искажений и ухудшения качества изображения. В связи с этим необходимо определить углы обзора объективов подвешиваемых камер. Для этого используем формулу (1).

Зная физический размер матрицы d – 1/2.3, = 6,16×4,62 мм и фокусное расстояние объектива F = 12 мм, можно рассчитать:

– угол обзора объектива по горизонтали

$$\alpha = 2\text{arctg}\left(\frac{6,16}{12}\right) = 0,94851458092\ (Rad);$$

– угол обзора объектива по вертикали

$$\alpha = 2\text{arctg}\left(\frac{4,62}{12}\right) = 0,735017684\ \ (Rad).$$

Переводя радианы в градусы, получаем углы 54,345° и 42,113° соответственно.

С помощью программного обеспечения SketchUp была составлена схема, на которой изображен угол обзора объектива по горизонтали, вертикали и поле обзора аэроландшафта. Используя фотограмметрические преобразования, был получен искомый угол установки камер относительно вертикальной оси подвеса (рис. 4). Его значение составило 49,4°.

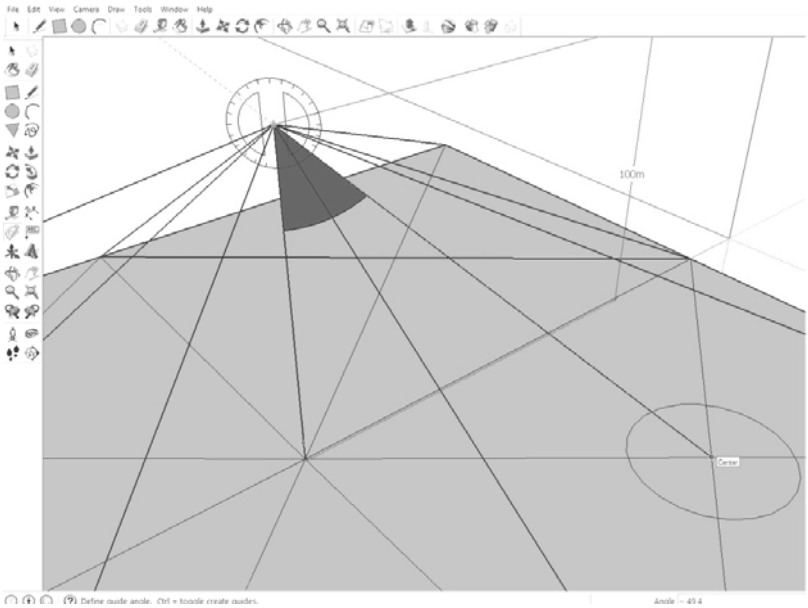


Рис. 4. Расчет угла крепления камер на подвесе

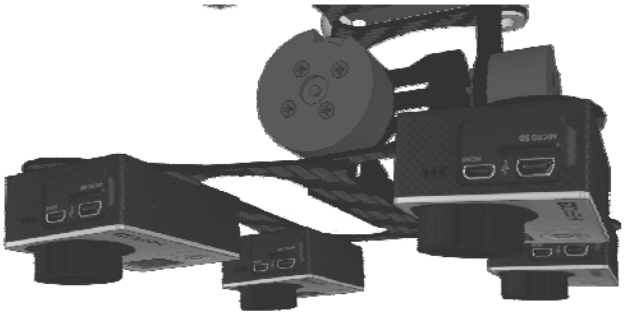


Рис. 5. Гиростабилизированная платформа с закрепленными на ней камерами

Конечный вид разработанного подвеса представлен на рис. 5.

Как было указано выше, данный вид подвеса существенно расширяет охватываемый целевой нагрузкой участок местности, что востребовано в условиях ограниченного времени, отводимого на выполнение мониторинга заданного района.

Список литературы

1. Коваленко, В. П. Фотограмметрическая обработка материалов видовых средств воздушной разведки / В. П. Коваленко, А. И. Тищенко. – Воронеж: ВАИУ, 2009.

2. Физический практикум. Электричество и оптика: учебник / под общ. ред. В. И. Ивероновой. – М.: Изд-во «Наука», 1968. – 816 с.

TECHNICAL SOLUTIONS TO OPTIMIZE THE LAYOUT OF THE OPTICAL LOAD OF THE VISIBLE RANGE ON UNMANNED AERIAL VECHICLES TO INCREASE THE FIELD OF VIEW OF THE LANDSCAPE

V. V. Siomka, V. V. Jugan, B. V. Siomka
Military Educational Research Centre of Air Force
"*Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin*", *Voronezh*
vsiomka@mail.ru

Abstract. The Article is devoted to the determination of the altitude of the unmanned aerial vehicle, which allows to obtain video information with the required probability of detection, recognition and identification of objects.

Keywords: unmanned aerial vehicle, optical system layout, detection, photogrammetric processing.

References

1. Kovalenco, V. P. Photogrammetric processing of the materials the species the means of aerial / V. P. Kovalenko. A. I. Tischenko; ed. by V. V. Klyuev. – M.: Publishing house "Spektr", 2009. – 206 p.

2. Physical practice. Electricity and optics: textbook / under the General editorship of V. I. Iveronova. – Moscow: Publishing House "Nauka", 1968. – 816 p.

УДК 550.84

ОСОБЕННОСТИ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОГО ПОИСКА НАМАГНИЧЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АЭРОМАГНИТОРАЗВЕДКИ

И. А. Скирда, Д. А. Швецов
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж

Аннотация. Рассмотрены теоретические и практические особенности постановки задачи применения аэромагнитной разведки при поиске скрытного заглубленного намагниченного объекта. Показана возможность выделения полезного сигнала от намагниченного объекта на магнитометре на фоне разного характера магнитных помех при проведении авиационной разведки.

Ключевые слова: аэромагнитная разведка, магнитная индукция, напряженность магнитного поля, феррозондовый магнитометр, магнитометрический поиск намагниченных объектов.

Воздушная магнитометрическая разведка (сокращенно магниторазведка) является эффективным средством ведения воздушной разведки ферромагнитных тел. По сравнении с другими видами магнитной разведки она обладает большей производительностью. Ее применение позволяет оперативно обнаружить и произвести предварительно оценку местоположения ферромагнитных тел. Особую актуальность эта разведка приобретает при поиске хорошо замаскированных намагниченных объектов, заглубленных объектов или объектов, скрытых под водой. Учитывая, что в последние годы возросли возможности аэрокосмической разведки, увеличились и требования к маскировке современных систем вооружения и пунктов управления данными системами. Поэтому одним из эффективных средств маскировки указанных объектов является их заглубление или увеличение глубины нахождения их под водой.

Данная задача может быть поставлена также при поиске исчезнувших объектов в обширных морских и океанических акваториях при возникновении непредвиденных, чрезвычайных ситуаций перед МЧС России. Это прежде всего поиск исчезнувшего из диспетчерских радаров и затем потерпевшего катастрофу воздушного судна, поиск исчезнувших надводных и подводных кораблей, находящихся на небольших глубинах на дне морей и океанов. В этих случаях для решения указанных задач на первый план выходит применение воздушной разведки, в том числе, и магнитной аэроразведки.

В случае проведения воздушной разведки указанных выше объектов, применение различных оптико-электронных аэрокосмических средств разведки практически невозможно. В связи с этим для вскрытия объемных и массивных заглубленных объектов необходимо применять воздушную гравитационную или магнитную разведку. Но если поисковый объект (сооружение, тело) не обладает достаточной массой и эффективной плотностью (его плотность плохо выделяется на фоне плотности вмещающих его пород) и объект является ферромагнитным, то единственным видом разведки данных объектов является магниторазведка.

Магниторазведка принципиально возможна потому, что ферромагнитное тело, находясь в магнитном поле Земли, намагничивается. Намагниченный объект создает свое магнитное поле, которое позволяет его обнаружить. Для измерения магнитной индукции B некоторой области пространства в авиационных магнитометрических системах в качестве первичного преобразователя используется феррозондовый магнитометр (например, АМФ-21).

Магнитная индукция B зависит от свойств среды, где она действует, т.е. она связана через напряженность магнитного поля H с величиной намагниченности среды J

$$J = \chi H \quad \text{и} \quad B = \mu_0 (H + J) = \mu_0 \mu H ,$$

где $\mu_0 = 4\pi$ – магнитная постоянная; χ – магнитная восприимчивость среды; μ – магнитная проницаемость среды.

Магнитная проницаемость воздуха и морской воды равны соответственно 1,0000038 и 0,999991. Поэтому, при описании магнитного поля в этих средах B и H связаны равенством

$$B = \mu_0 H .$$

Намагниченность тела можно также определить через интегральную характеристику источника аномалии магнитного поля – его магнитный момент:

$$M = \int_V J dV ,$$

где V – объем тела, по которому осуществляется интегрирование намагниченности.

При проведении воздушной магнитной разведки, при решении задач специального мониторинга поисковый намагниченный объект, как правило, представляет собой относительно небольшой по горизонтальным размерам объект. Поэтому магнитное поле данного объекта

представляет собой небольшую по протяженности локальную аномалию, обнаружить которую представляется сложной задачей. Особенно, если источником указанной локальной магнитной аномалии является намагниченное тело, состоящее из ферромагнитного корпуса и расположенных внутри механизмов и оборудования. В этом случае основным источником «дальнего» магнитного поля данного объекта является корпус, так как магнитные поля, созданные механизмами и оборудованием, в значительной степени экранируются прочным корпусом.

Намагниченность объекта слагается из постоянной и индуктивной намагниченности и характеризуется постоянным $M_{\text{р}}$ и индуктивным магнитными моментами.

Постоянная намагниченность (ей соответствует остаточная намагниченность ферромагнитных масс) длительное время остается неизменной и приобретается намагниченным объектом главным образом во время его постройки. Поэтому можно предположить, что магнитное поле размагниченного объекта в основном состоит из индуктивной намагниченности.

Индуктивная намагниченность изменяется пропорционально изменению напряженности магнитного поля Земли и зависит от магнитных свойств материала, из которого изготовлен объект, соотношения его основных размеров и положения (курса) намагниченности объекта относительно магнитного меридиана.

Рассмотрим особенности проведения воздушной магниторазведки; погрешности, возникающие при этом; поправки, которые необходимо вводить при измерении магнитной индукции, вызванной магнитным полем намагниченного объекта.

В общем виде суммарная магнитная индукция, измеряемая феррозондовым магнитометром, определяется выражением

$$B_{\Delta\text{Т}} = B_{\text{Т}} - B_{\text{П}} = B_{\Delta\text{ТТН}} + B_{\Delta\text{ЛЛ}} + B_{\Delta\text{ЛА}} + B_{\Delta\text{ФМ}}\,, \qquad (1)$$

где $B_{\text{П}}$ – магнитная индукция, вызванная постоянным магнитным полем в зоне обнаружения намагниченного объекта (НО); $B_{\text{Т}}$ – модуль магнитной индукции в данной точке Земли; $B_{\Delta\text{ТНО}}$ – составляющая магнитной индукции, вызванная магнитным полем НО; $B_{\Delta\text{ЛП}}$ – составляющая магнитной индукции, обусловленная локальными аномалиями магнитного поля Земли; $B_{\Delta\text{ВР}}$ – составляющая магнитной индукции, обусловленной вариациями магнитного поля Земли во времени; $B_{\Delta\text{ЛА}}$ – составляющая магнитной индукции, вызванная влиянием магнитного поля летательного аппарата; $B_{\Delta\text{ФМ}}$ – составляющая магнитной индукции, вызванная собственными шумами ферромагнитного магнитометра.

Как видно из формулы (1), выделение полезного сигнала от намагниченного объекта на магнитометре происходит на фоне разного характера магнитных помех. Рассмотрим более подробно составляющие, которые обуславливают разницу модуля магнитной индукции, измеряющую магнитометром и постоянным геомагнитным полем в данной области пространства.

Величина $B_{\Delta\text{ТНО}}$ является полезным сигналом на магнитометре, созданным НО, и который необходимо выделить на фоне помех.

Аномальное локальное магнитное поле Земли ($B_{\Delta\text{ЛП}}$) показывает существенное влияние на показание магнитометра, и оно значительно в прибрежных районах поиска объектов. Модели, по которой можно было бы рассчитать пространственное распределение локального аномального магнитного поля Земли, – нет. Поэтому для внесения поправки в показания магнитометра, вызванной данным параметром, необходимо при магнитометрической разведке постоянно привязываться к опорной сети. При этом, также необходимо учитывать тот факт, что использование высокочастотной фильтрации и сдвига полосы пропускания ферромагнитного магнитометра в область более высоких частот помогает снизить магнитный фон и частоту возникновения ложных тревог в сильно аномальном магнитном поле.

Важной поправкой для показаний магнитометра является также составляющая $B_{\Delta\text{ВР}}$. В настоящее время существуют таблицы или карты нормального геомагнитного поля, или главного магнитного поля Земли. Эти справочные данные рассчитаны для определенного периода времени (середина года, кратного 5 – например, 1995 г., 2000 г. и т.д.) и для каждой точки Земли, находящейся на уровне моря (при нулевой высоте). Но для введения компенсации в показания магнитометра, вызванной временной вариацией магнитного поля, заранее рассчитанные справочные материалы отсутствуют. Поэтому необходимо воспользоваться данными береговых магнитометрических станций. Это не приведет к большим погрешностям, так как временны́е геомагнитные вариации очень синхронны и близки по величине в точках наблюдения, расположенных на расстоянии в несколько десятков километров относительно друг друга.

Помехи, вносимые летательным аппаратом в магнитную индукцию $B_{\Delta\text{ЛА}}$ измеряемым магнитометром, можно разделить на два вида:

1) помехи, вызванные проекцией магнитного поля носителя на направления магнитного поля Земли и магнитного поля намагниченного объекта. Основным источником этих помех является поле, создаваемое ферромагнитными массами носителя. Это поле подразделяется на постоянное, индуктивное и поле вихревых токов, возникающих в токопроводящих обшивках летательного аппарата. Для снижения уровня помех,

обусловленных ферромагнитными массами носителя, применяются технологические и компенсационные методы. Технологические методы включают в себя: удаление блока измерительных датчиков от источников магнитных помех (подвешивание его на канате на удалении 10…20 м от носителя); замена магнитных материалов летательных аппаратов (ЛА), проводящих аэромагнитную разведку, на немагнитные.

Кроме этого, указанные выше помехи могут существенно изменять свое значение и знак за счет эволюции летательного аппарата по маршруту в магнитном поле Земли. Данные эволюции закономерны в сложных условиях полета летательного аппарата.

Проведение магнитометрического поиска намеченных объектов накладывает на параметры полета следующие требования: выдерживание прямолинейного горизонтального полета со строго заданным курсом на малых высотах (50…200 м). Высота полета носителя при магнитометрическом поиске составляет от 50 до нескольких сот метров, а на этих высотах часто возникает болтанка, особенно в летнее время, при сильной термической или динамической турбулентности. В этих условиях летательный аппарат постоянно изменяет углы рыскания и тангажа, возможны перепады высот. В результате этих эволюций возникают или увеличиваются помехи, вызванные перемещением летательного аппарата в неоднородном магнитном поле Земли и аномальном магнитном поле;

2) помехи, создаваемые магнитными полями, которые возникают в силовых цепях электрооборудования и работой радиоэлектронного оборудования, излучающими электромагнитную энергию в различных частотных диапазонах.

Для снижения уровня данных помех часть авиационного и радиоэлектронного оборудования отключают в поисковом полете, радиооборудование на постоянном токе переводят на питание на переменном токе (уменьшается постоянное магнитное поле в области ЛА); часть электрооборудования переводят на питание по двухпроводной схеме (в этом случае ЛА не является проводником и не создает вокруг себя магнитное поле).

Комплексирующие методы снижения уровня помех заключаются в возможности создания с помощью ортогональных катушек, жестко связанных со строительными осями ЛА. Они обеспечивают за счет регулирования тока в катушках возможность, в зависимости от эволюции ЛА по отношению к курсу, формировать необходимую компенсирующую величину и направление магнитного поля.

Кроме этого, можно четко отличить полезный сигнал магнитометра от незначительной нескомпенсированной части геомагнитных помех, обусловленных ЛА и собственным фоном магнитометра.

Данные помехи могут быть представлены нормальным случайным процессом (случайная пульсация) на фоне четко выраженной стационарной аномалии, вызванной разведываемым намагниченным объектом.

Таким образом, при проведении воздушной магнитной разведки измерение магнитной индукции $B_{\Delta T}$ магнитометром, обусловленной магнитным полем намагниченного объекта, представляет сложную задачу. При проведении данных измерений необходимо учесть много факторов. Основными из них являются локальные аномалии магнитного поля Земли и их временны́е вариации и помехи, вносимые магнитным полем летательного аппарата, проводящего разведку. Для учета первого фактора необходима постоянная привязка к близлежащим магнитометрическим станциям и ввод соответствующих поправок. Для уменьшения влияния носителя необходимо применять технологические методы.

Список литературы

1. Автоматизированные системы наземных комплексов сбора и обработки данных воздушной разведки: учебное пособие; под ред. И. Н. Белоглазова / ВВИА имени Н. Е. Жуковского. – 2003.

2. Геофизика: учебник для вузов / под ред. В. К. Хмелевского. – 3-е изд. – М.: КДУ, 2012 – 320 с.

FEATURES OF MAGNETOMETRIC SEARCH OF THE MAGNETIZED OBJECTS BY CARRYING OUT AN AEROMAGNETIC RECONNAISSANCE

I. A. Skirda, D. A. Shvetcov

Military Educational and Scientific Center of the Air Force
"*N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy*", *Voronezh*

Abstract. In article are considered theoretical and practical features of problem definition of application of aeromagnetic reconnaissance by search of the hidden buried magnetized object. Are shown the possibility of allocation of a useful signal from the magnetized object on the magnetometer against the background of different character of magnetic hindrance by carrying out an aviation reconnaissance.

Keywords: aeromagnetic reconnaissance, magnetic induction, magnetic field strength, flux gate magnetometer, magnetometric search of the magnetized objects.

References

1. The Automated systems of land complexes of collecting and data processing of air reconnaissance. The manual under edition I. N, Beloglazova / Military Air Force Engineering Academy of N. E. Zhukovskogo. – 2003.

2. Geophysics. The textbook for higher education institutions; Under edition V. K. Hmelevskogo.

УДК 528.711.18

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ТРЕБУЕМОЙ СТЕПЕНЬЮ ДЕТАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОИСКЕ ТЕПЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ

А. И. Тищенко[1], И. Н. Ищук[1], Ю. Ю. Громов[2]

[1]Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж

[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов

Аннотация. Статья посвящена определению высоты полета беспилотного летательного аппарата, позволяющего получать видеоинформацию с требуемыми вероятностями обнаружения, распознавания и идентификации тепловых объектов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, высота полета, распознавание, обнаружение, идентификация.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находят широкое применение в министерствах и ведомствах Российской Федерации. Мониторинг нефтяных и газовых трубопроводов, автомобильных дорог, управление силами и средствами в кризисных ситуациях – вот далеко не полный перечень направлений использования БПЛА. Общим для всех указанных направлений является то, что информация, получаемая с помощью БПЛА, должна быть оперативной и детализированной. Оперативность и детализация информации, получаемой с помощью БПЛА, во многом определятся высотой полета БПЛА (H) в ходе мониторинга.

В статье предлагается подход определения высоты полета БПЛА на воздушную разведку заданного района, в зависимости от требуемой степени детализации видеоинформации.

Используется три степени детализации видеоинформации об объектах мониторинга: обнаружение; распознавание; идентификация.

Процесс обнаружения, распознавания и идентификации объектов мониторинга на основе видеоинформации является вероятностным. В системах видеорегистрации для определения вероятностей обнаружения, распознавания и идентификации объектов используется критерий Джонсона. Кривые зависимостей идентификации объектов от ко-

личества элементов разрешения N, занимаемыми ими на видеоматериалах, имеют вид

$$P_{\text{об}} = 1 - e^{-0,2(N-1)^2}, \quad (1)$$

$$P_{\text{рас}} = 1 - e^{-0,015(N-1)^2}, \quad (2)$$

$$P_{\text{ид}} = 1 - e^{-0,005(N-1)^2}, \quad (3)$$

где $P_{\text{об}}$, $P_{\text{рас}}$, $P_{\text{ид}}$ – вероятности обнаружения, распознавания и идентификации объектов от количества элементов N разрешения, занимаемых ими на видеоматериалах.

Решая уравнения (1) – (3) относительно N, получим выражения, определяющие количество элементов разрешения на видеоматериалах, необходимое для того, чтобы объекты дешифрировались с заданными значениями вероятностей обнаружения, распознавания и идентификации:

$$N_{\text{об}} = 1 + \sqrt{-\frac{\ln(1 - P_{\text{об}})}{0,2}}, \quad (4)$$

$$N_{\text{рас}} = 1 + \sqrt{-\frac{\ln(1 - P_{\text{рас}})}{0,015}}, \quad (5)$$

$$N_{\text{ид}} = 1 + \sqrt{-\frac{\ln(1 - P_{\text{ид}})}{0,005}}, \quad (6)$$

где $N_{\text{об}}$, $N_{\text{рас}}$, $N_{\text{ид}}$ – количество элементов разрешения, занимаемых объектом на видеоматериалах, в зависимости от заданных значений $P_{\text{об}}$, $P_{\text{рас}}$, $P_{\text{ид}}$ соответственно.

Установим зависимость N от H. Пусть объект размерами $N_{\text{м}}$ создает видеоизображение $N_{\text{и}}$. Точка изображения размером a соответствует элементу объекта A. Объектив видеокамеры с фокусным расстоянием f расположен на высоте H относительно объекта и удалении d и формирует изображение объекта. В общем случае $d \neq f$. Величины H, d и f связаны формулой линзы [2]

$$\frac{1}{H} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f}. \quad (7)$$

Применительно к нашему случаю съемки $H >> d$, следовательно, можно принять $d \approx f$. На основе этого условия выполняется равенство (8)

$$\frac{N_{\text{м}}}{H} = \frac{N_{\text{и}}}{f}. \quad (8)$$

Из (4) следует, что

$$N_{\text{и}} = \frac{N_{\text{м}} f}{H}. \tag{9}$$

Количество элементов разрешения, укладывающихся в размер $N_{\text{и}}$, равно $N_{\text{и}} R$, где R – разрешающая способность средства наблюдения. Она рассчитывается как среднегеометрическая сумма разрешающей способности объектива $R_{\text{о}}$ и чувствительного элемента $R_{\text{э}}$, (выражение (10))

$$R = \frac{R_{\text{о}} R_{\text{э}}}{R_{\text{о}} + R_{\text{э}}}. \tag{10}$$

Окончательно количество элементов разрешения N в $N_{\text{и}}$ определяется выражением (11)

$$N = \frac{R N_{\text{м}} f}{H}. \tag{11}$$

Подставим (11) в (4) – (6) и, решив уравнения относительно H, получим

$$H_{\text{об}} = \frac{R N_{\text{м}} f}{1 + \sqrt{-\dfrac{\ln(1 - P_{\text{об}})}{0{,}2}}}, \tag{12}$$

$$H_{\text{рас}} = \frac{R N_{\text{м}} f}{1 + \sqrt{-\dfrac{\ln(1 - P_{\text{рас}})}{0{,}015}}}, \tag{13}$$

$$H_{\text{ин}} = \frac{R N_{\text{м}} f}{1 + \sqrt{-\dfrac{\ln(1 - P_{\text{ин}})}{0{,}005}}}, \tag{14}$$

где $H_{\text{об}}$, $H_{\text{рас}}$, $H_{\text{ин}}$ – соответствующие значения высот полета БПЛА, удовлетворяющие вероятностям обнаружения, распознавания и идентификации объектов по видеоматериалам, полученным в ходе мониторинга.

Таким образом, предложен подход расчета высоты полета беспилотного летательного аппарата на выполнение воздушной видеоразведки с учетом заданных значений вероятностей обнаружения, распознавания и идентификации объектов мониторинга.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (*грант № 18-08-00053А*).

Список литературы

1. Ковалев, А. А. Технические средства антитеррористической и криминалистической диагностики: учебное пособие / А. А Ковалев, А. В. Ковалев; под общ. ред. В. В. Клюева. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 206 с.
2. Физический практикум. Электричество и оптика: учебник / под общ. ред. В. И. Ивероновой. – М.: Изд-во «Наука», 1968. – 816 с.

DETERMINATION OF THE FLIGHT ALTITUDE UNMANNED AERIAL APPARATUS FOR PERFORMING VIDEO SURVEILLANCE IS REQUIRED THE DEGREE OF DETAIL OF INFORMATION

A. I. Tishchenko[1], I. N. Ishchuk[1], Y. Y. Gromov[2]

[1]*Military Educational and Scientific Center of the Air Force "N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy", Voronezh*
aleksei.tishenko@yandex.ru
[2]*State Technical University, Tambov*

Abstract. The Article is devoted to the determination of the altitude of the unmanned aerial vehicle, which allows to obtain video information with the required probability of detection, recognition and identification of objects.

Keywords: unmanned aerial vehicle, flight altitude, recognition, detection, identification.

References

1. Kovalev, A. A. Technical means of anti-terrorist and criminalistic diagnostics: textbook. manual / A. A. Kovalev. A. V. Kovalev ed. by V. V. Klyuev. – M.: Publishing house "Spektr", 2011. – 206 p.
2. Physical practice. Electricity and optics: textbook / under the General editorship of V. I. Iveronova. – Moscow: Publishing House "Nauka", 1968. – 816 p.

УДК 66-52:66(075)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ

А. А. Третьяков, И. А. Елизаров, В. Н. Назаров
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов

Аннотация. Рассмотрен подход к построению автоматизированной лабораторной установки для разработки новых химических продуктов. Представлена структура комплекса технических средств системы контроля и управления лабораторной установкой. Описано разработанное прикладное программное обеспечение системы контроля и управления.

Ключевые слова: автоматизированная лабораторная установка, программируемый логический контроллер, комплекс технических средств, SCADA-система.

Одним из перспективных направлений инновационного развития химической промышленности является производство новых высококачественных конкурентоспособных химических продуктов нового поколения, отвечающих современным требованиям экологичности [1]. Использование автоматизированных лабораторных установок (АЛУ) позволит снизить трудоемкость и стоимость разработки технологий новых химических продуктов.

АЛУ должны обладать универсальностью, небольшими габаритами, иметь широкий набор контрольно-измерительной аппаратуры, возможностью реализовывать различные термодинамические режимы [2].

На ПАО «Пигмент» в сотрудничестве с Тамбовским государственным техническим университетом создана АЛУ, предназначенная для разработки технологий производства большого ассортимента перспективных химических продуктов.

На данной установке разрабатываются такие продукты как: химические добавки для различных бетонов, формальдегидные смолы, водорастворимые пигменты.

АЛУ позволяет организовывать различные технологические схемы путем переконфигурирования элементов установки (загрузочных емкостей, насосов, реакторов, термостатов).

Система управления АЛУ обеспечивает: различные температурные режимы ведения процесса в реакторах, различные режимы дозирования реагентов в реакторы в соответствии с технологической кар-

той, различные гидродинамические режимы ведения процесса в реакторах.

При создании лабораторной установки использовалось имеющееся на предприятии лабораторное оборудование: реакторы с рубашкой и мешалкой, программируемые циркуляционные термостаты FP50-HD фирмы Julabo, электромагнитные дозировочные насосы фирмы ProMinent. Диапазон рабочих температур, реализуемых термостатом: – 50 до 200 °С. Дозировочные насосы обеспечивают производительность 0,74 … 32 л/ч, с обратным давлением 16…20 бар.

В качестве электродвигателей мешалок использовались моторредукторы серии SF7152, SF6551 (ООО «НПФ Электропривод»), которые представляют собой реверсивные коллекторные двигатели постоянного тока с цилиндрическими редукторами с управлением от блоков управления BMSD. Для контроля частоты вращения мешалок использованы инкрементальные энкодеры E40H.

В состав АЛУ входят три реактора с рубашкой и мешалкой, шесть емкостей, установленных на весах, семь дозирующих насосов, три термостата.

В реакторах осуществляется контроль величины pH, температуры среды, температуры теплоносителя, частоты вращения мешалки.

Загрузочные емкости предназначены для дозировки исходных веществ и полупродуктов с помощью дозировочных насосов.

Термостаты предназначены для реализации различных температурных режимов в реакторах.

В качестве управляющего контроллера был выбран промышленный программируемый логический контроллер (ПЛК) ПЛК-110-60 с модулями ввода/вывода серии МВ(МУ) 110 производства отечественной компании «ОВЕН». ПЛК выполнен в полном соответствии со стандартом ГОСТ Р 51840–2001 (IEC 61131-2), что обеспечивает высокую аппаратную надежность.

Система управления АЛУ строится как иерархическая многоуровневая система, в которой можно выделить нижний уровень датчиков и исполнительных механизмов, средний уровень ПЛК и верхний операторский уровень [3].

Структура комплекса технических средств (КТС) представлена на рис. 1.

Электропитание оборудования щитов контроля и управления (ЩКУ), а также автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора осуществляется через источник бесперебойного питания Smart-UPS, который помимо фильтрации сетевых помех, обеспечивают работу системы управления в течение 1 часа после отключения электропитания.

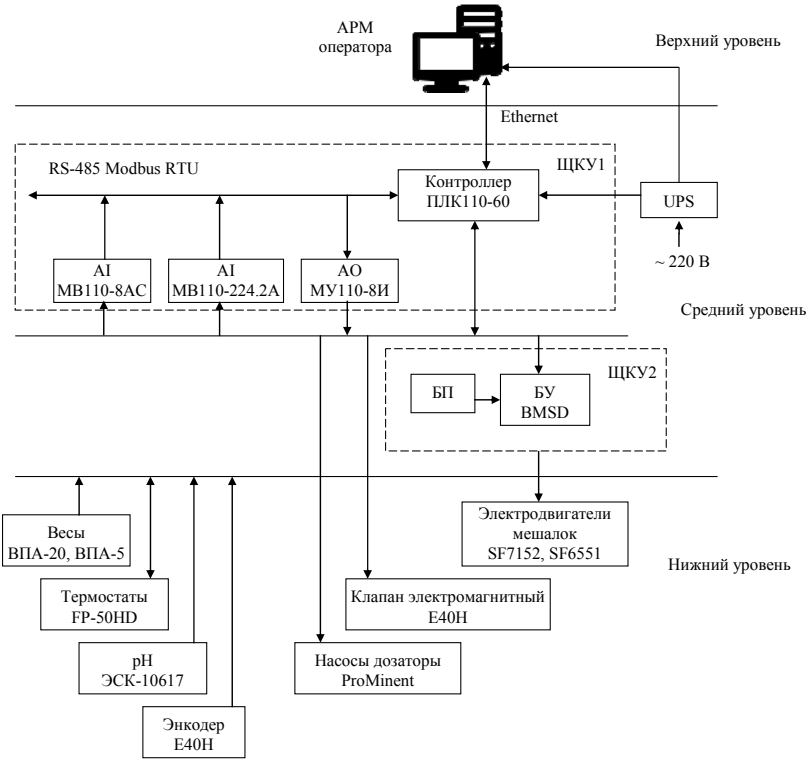


Рис. 1. Структура КТС системы контроля и управления АЛУ:
ЩКУ1, 2 – щиты контроля и управления; AI – модули аналогового ввода;
AO – модули аналогового вывода; БП – блоки питания блоков управления;
БУ – блоки управления электродвигателями мешалок;
UPS – бесперебойный источник питания

Верхний уровень управления реализован в виде АРМ оператора с использованием SCADA «КРУГ-2000».

В качестве инструментального пакета для программирования ПЛК выбрана популярная инструментальная система CoDeSys.

Прикладное программное обеспечение ПЛК построено по модульному принципу и включает в себя блоки, реализующие операции, выбираемые на мнемосхеме технологического процесса АРМ (управление дозирующим насосом, управление термостатом, управление мешалкой и др.).

На рисунке 2 представлен внешний вид АЛУ.

Рис. 2 Автоматизированная лабораторная установка

Созданная АЛУ повысила эффективность работы лаборатории ПАО «Пигмент» в области разработки технологий производства новых химических продуктов.

Список литературы

1. Кондрашова, Е. А. Перспективы инновационного развития предприятий химической промышленности / Е. А. Кондрашова, А. В. Матрос // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2013, № 11(59). – С. 1 – 16.

2. Егоров, А. Ф. Разработка автоматизированных лабораторных комплексов: учебное пособие / А. Ф. Егоров, Т. В. Савицкая, С. П. Дударов и др. // под ред. А. Ф. Егорова. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева. 2006. – 176 с.

3. Бойков, В. И. Интегрированные системы проектирования и управления / В. И. Бойков, Г. И. Болтунов, О. К. Мансурова. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 162 с.

AUTOMATED LABORATORY SETUP FOR DEVELOPING NEW CHEMICAL PRODUCTS

A. A. Tretyakov, I. A. Elizarov, V. N. Nazarov
Tambov State Technical University, *Tambov*

Abstract. An approach to the construction of an automated laboratory installation for the development of new chemical products is considered. The structure of the complex of technical means of the laboratory installation control and management system is presented. The developed application software of the monitoring and control system is described.

Keywords: automated laboratory installation, programmable logic controller, complex of technical means, SCADA-system.

УДК 66-52:66(075)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОЛУЧЕНИЯ ОТБЕЛИВАТЕЛЯ БЕЛОФОРА ОЦД

А. А. Третьяков, И. А. Елизаров, В. Н. Назаров
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов

Аннотация. Рассматривается автоматизированная система управления производством отбеливателя белофора ОЦД. Приводится структура комплекса технических средств системы управления установкой, построенная на базе промышленного контроллера ОВЕН ПЛК110 и модулей ввода/вывода серии Mx110 фирмы ОВЕН и SCADA-системы «КРУГ-2000».

Ключевые слова: отбеливатель, белофор, автоматизированная система управления, управляющий контроллер, SCADA-система.

Белизна является одним из важных показателей, обеспечивающих высокие потребительские качества таких изделий, как текстиль, трикотаж, различных полимерных материалов и бумаги. Высокая белизна таких изделий необходима при окрашивании в яркие и светлые цвета, для получения насыщенных и контрастных узоров любых цветов на ткани, при создании четких и легко воспринимаемых рисунков, графики и текста [1]. В настоящий момент для отбеливания наибольшую популярность получили химические оптические отбеливатели, к которым относятся такой отбеливатель как белофор ОЦД [2].

Белофор ОЦД является флуоресцентным оптическим отбеливателем ди-сульфо-типа и применяется для оптического беления целлюлозных волокон и изделий из них, в моющих средствах для стирки изделий из шерсти, целлюлозных и полиамидных волокон [3]. Так же белофор ОЦД широко применяется в производстве офисных, офсетных, графических бумаг и др.

Основной целью, поставленной при разработке новой АСУ ТП, было достижение конкурентных показателей качества готовой продукции, исключение колебаний этих показателей от партии к партии. Помимо этого АСУ ТП должна уменьшить влияние человеческого фактора и исключить возникновение нештатных ситуаций, улучшить условия труда.

Технологический процесс получение белофора является периодическим и включает несколько стадий. На каждой стадии последовательно осуществляется различные операции.

В отличие от непрерывных объектов, для аппаратов периодического действия даже в очень простых случаях от системы требуется более «интеллектуальная» деятельность [4]. Нестационарность процесса порождает серьезные трудности при регулировании (необходимость адаптации, переменной структуры регулятора).

Реализация нетиповых алгоритмов регулирования, а также логико-программное управление аппаратами и агрегатами и реализация функций технологических блокировок и противоаварийных защит возможна только при использовании свободно программируемого промышленного контроллера.

В качестве контроллеров при построении системы управления были выбраны промышленные контроллеры ПЛК-110-60, который программируется с использованием системы программирования для ПЛК CoDeSys версии 2.3.

АСУ ТП производства белофора ОЦД строится как иерархическая многоуровневая система. Нижний уровень АСУ ТП образуют датчики и исполнительные механизмы, средний уровень – программируемые логические контроллеры и верхний уровень – автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора.

Структура комплекса технических средств (КТС) АСУ ТП производства белофора ОЦД представлена на рис. 1.

КТС включает два щита управления (рис. 2) с контроллерами ПЛК-100-60 и модулями аналогового и дискретного ввода-вывода серии Мх110 производства компании «ОВЕН». Кроме них в щитах управления установлены блоки питания 24В, промежуточные реле (ПР) компании Finder, автоматические выключатели и предохранители.

Электропитание оборудования щитов, а также АРМа оператора осуществляется через источник бесперебойного питания Smart-UPS, который помимо фильтрации сетевых помех, обеспечивают работу системы управления в течение 30 минут после отключения электропитания.

Верхний уровень управления реализован в виде автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора с использованием SCADA «КРУГ-2000».

Автоматизированная система управления имеет возможность работы в двух режимах: полуавтоматическом и ручном.

При проведении технологического процесса в полуавтоматическом режиме исключается влияние человеческого фактора на точности загрузок и точности поддержания технологических параметром.

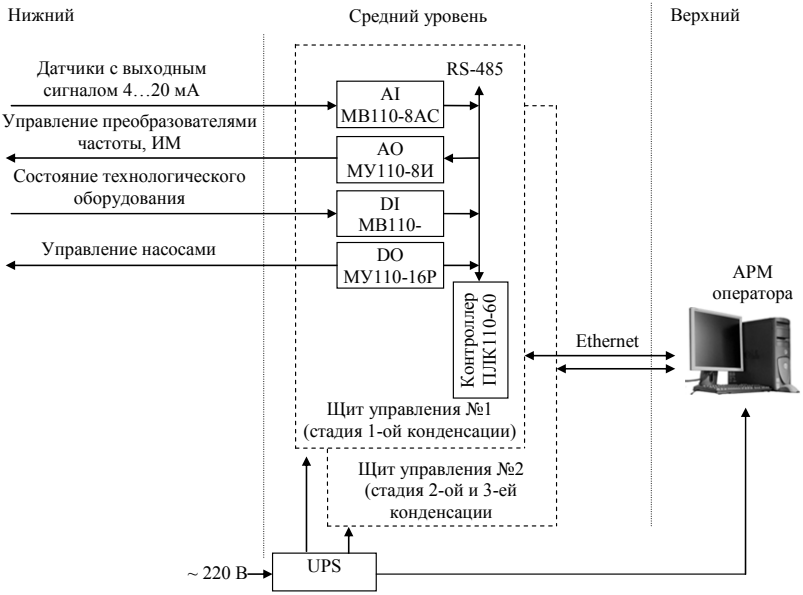
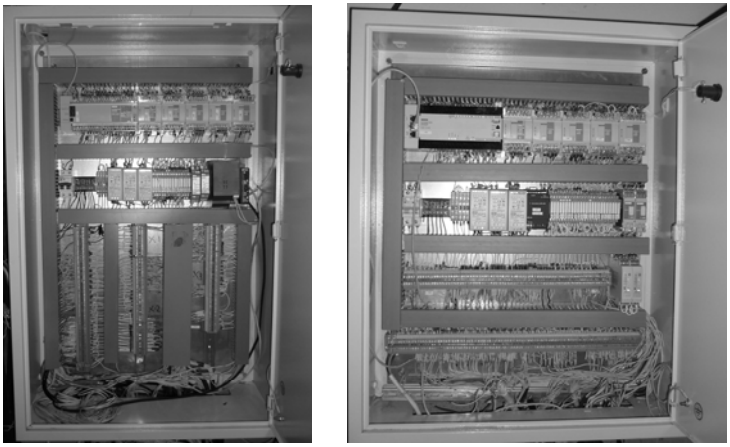


Рис. 1. Структура КТС АСУ ТП:
AI – модули аналогового ввода; AO – модули аналогового вывода;
DI – модули дискретного ввода; DO – модули дискретного вывода;
UPS – бесперебойный источник питания; ИМ – исполнительные механизмы



а) *б*)

Рис. 2. Общий вид щитов управления

При работе АРМа оператора, все события, происходящие в системе, фиксируются в протоколе событий. Протокол событий имеет развитую систему фильтров, которые позволяют управлять списком событий: показывать все события или сортировать события по группам (например, авария, предупреждение, норма, диагностика, настройка, информация).

После внедрения АСУ ТП производства белофора ОЦД был получен положительных экономический эффект, в части сокращения расходных норм, стабилизировалось качество продукции.

Список литературы

1. Емельянов, А. Г. Оптически отбеливающие вещества и их применение в текстильной промышленности / А. Г. Емельянов. – М.: Лег. индустрия, 1971. – 272 с.

2. Мартьянов, К. И. Наполнители в оптически отбеливающих препаратах, увеличивающие белизну хлопковой ткани / К. И. Мартьянов, К. В. Брянкин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 2(40). – С. 317 – 320.

3. Белофор ОЦД [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://krata.ru/index.php/ru/12-produktsiya/95-belofor-otsd.

4. Елизаров, И. А. Анализ подходов к построению интеллектуальной системой управления испытательным комплексом «Искусственные легкие» / И. А. Елизаров, А. М. Смолин, В. Ю. Харченко // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18, № 4. – С. 957 – 964.

AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE PROCESS OF GETTING BLEACH BELOFOR OTsD

A. A. Tretyakov, I. A. Elizarov, V. N. Nazarov
Tambov State Technical University, *Tambov*

Abstract. The article deals with the automated control system for the production of bleach Belophor OCD. The structure of a set of technical means of the installation control system is described. The structure is based on the industrial controller OWEN PLC 110 and the I/O modules series Mx110 firms “OWEN” and SCADA-system “KRUG 2000”.

Keywords: bleach, belophor, automated control system, master controller, SCADA system.

УДК 623.46

ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ЦЕОЛИТОВЫХ АДСОРБЕНТОВ БЛОКА ОЧИСТКИ МОБИЛЬНЫХ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

О. Н. Филимонова, А. С. Викулин, М. В. Енютина, А. В. Иванов
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж

Аннотация. Проанализированы различные подходы к процессу регенерации адсорбентов и установлено, что регулируемый внешний нагрев позволяет максимально уменьшить время восстановления адсорбента.

Ключевые слова: воздухоразделительная установка, адсорбция, блок очистки, цеолиты, примеси, термическая регенерация.

Вопросом безопасности эксплуатации воздухоразделительных установок (ВРУ) уделяется большое внимание в связи с возможностью образования отвержденных углеводородных примесей воздуха на межфазной границе испарителя, конденсатора, теплообменников и т.д. [1]. Как правило, удаление широкого спектра примесей, присутствующих в атмосферном воздухе, осуществляется в блоке адсорбционной очистки, состоящей из двух вертикальных колонн, работающих попеременно. Идентификация времени наработки колонны в рабочем режиме и в режиме регенерации играет первостепенную роль в кинетике образования осадков кристаллических примесей, так как периодичность работы блока адсорбционной очистки в конечном итоге определяет степень подготовки ожижения воздуха и разделение его на компоненты – кислород и азот.

Анализ отечественных и зарубежных исследований показывает [2, 3], что наиболее приемлемым по физико-химическим и термодинамическим показателям, удовлетворяющим качеству очистки, являются адсорбенты цеолитового ряда. Локальные физико-химические характеристики адсорбентов цеолитового ряда имеют следующие особенности:

– имеют большую адсорбционную способность при поглощении компонентов при небольших концентрациях их в газовых смесях;
– обладают высокой степенью селективности;
– имеют достаточную механическую прочность;
– подвергаются эффективно регенерации.

Общая химическая формула цеолитов $Me_{2/n}O{\cdot}Al_2O_3{\cdot}xSiO_2{\cdot}yH_2O$. (где Me – катионы щелочного металла, а n – его валентность). В природе в качестве катионов обычно в состав цеолитов входят натрий, калий, кальций, реже барий, стронций и магний. Кристаллическая структура цеолитов образована тетраэдрами SiO_4 и AlO_4 (атомы Al и Si принято классифицировать как Т-атомы), связанные друг с другом общим ионом кислорода [2].

Таким образом, цеолиты отвечают в полной мере сформулированным выше требованиям.

Процесс регенерации является сопряженным процессу адсорбции, в том смысле, что время на адсорбционную очистку и время на последующую регенерацию должны быть равны. Это ограничение накладывает специфическое рассмотрение этих процессов во взаимосвязи, что означает не полную отработку адсорбционной колонки в рабочем режиме, как и недостаточную очистку от примесей адсорбента при регенерации.

Для решения этой задачи была сформулирована математическая модель, описывающая конвективный внутрипоровый нагрев адсорбента в слое, с граничными условиями отсутствия теплопритока извне. Показано, что время полного нагрева слоя существенно зависит от макротопологии слоя адсорбента, коэффициента проницаемости пористого слоя и расходной характеристики теплоносителя. Ограничения по скорости теплоносителя связаны с учетом диссипации энергии потока в механическое разрушение поверхностного слоя цеолитовых гранул.

Рекомендовано в качестве продувочного теплоносителя использовать азот с температурой на входе в адсорбционную колонку при регенерации приблизительно 300…350 °С, что коррелируется с данными из [4]. Получены данные о пространственной неоднородности прогрева за счет изменения порозности в слое, примыкающем к стенке адсорбционной колонки.

Сформулирована перспективная задача отыскания оптимального периода периодической работы блока адсорбционной очистки по критерию максимального удаления примесей из атмосферного воздуха. Вычислительным и натурным экспериментами показано существование оптимального периода смены функционирования блока адсорбционной очистки с рабочего режима адсорбции на режим термической регенерации и наоборот.

Список литературы

1. Фанштейн, В. И. Безопасность при производстве и применении продуктов разделения воздуха / В. И Фанштейн. – М.: Металлургия, 1996. – 219 с.
2. Шумяцкий, Ю. И. Промышленные адсорбционные процессы / Ю. И. Шумяцкий. – М.: КолосС, 2009. – 182 с.
3. Комаров, В. С. Адсорбенты: получение, структура, свойства / В. С. Комаров. – Минск: Беларус. Навука, 2009. – 256 с.
4. Швыдкий, В. С. Очистка газов: справочник / В. С. Швыдкий, М. Г. Ладыгичев. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 640 с.

THERMAL REGIMES OF REGENERATION OF ZEOLITE ADSORBENTS OF THE PURIFICATION UNIT MOBILE AIR SEPARATION UNITS

O. N. Filimonova, A. S. Vikulin, M. V. Enyutina, A. V. Ivanov
Military Educational Research Centre of Air Force "*Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin*", *Voronezh*

Abstract. Different approaches to the process of adsorbent regeneration are analyzed and it is found that the controlled external heating allows to minimize the time of the adsorbent recovery.

Keywords: air separation unit, adsorption, cleaning unit, zeolites, impurities, thermal regeneration.

Секция

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ В ТВЕРДОМ, ЖИДКОМ И ГАЗООБРАЗНОМ СОСТОЯНИЯХ

УДК 536.32.18

ТЕПЛОЕМКОСТЬ, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ СИСТЕМЫ МЕТИЛОВОГО СПИРТА И ВОДЫ

Ф. Абдужалилзода[1], М. А. Зарипова[2], Б. М. Махмадиев[1], Т. Р. Тиллоева[3], К. Б. Саидзода[1]

[1]Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни, Душанбе, Таджикистан
[2]Таджикский технический университет имени акад. М. С. Осими, Душанбе, Таджикистан
[3]ФМЭИ, Душанбе, Таджикистан

Аннотация. Приводятся результаты экспериментального исследования теплоемкости, теплопроводности и механизма изменения теплофизических свойств водных растворов при атмосферном давлении и комнатной температуре. Для исследования теплоемкости и теплопроводности теплоносителей системы метилового спирта и воды нами использован комплекс теплофизических измерений (КТИ) (разработан профессором М. М. Сафаровым и его учениками). На основе экспериментальных данных и закона термодинамического подобия нами получены эмпирические зависимости. Общая относительная погрешность измерения теплоемкости и теплопроводности при доверительной вероятности $\alpha = 0{,}95$ соответственно равны 3,0 и 3,5%.

Ключевые слова: метиловый спирт, теплоноситель, теплоемкость, теплопроводность, вода, температура, солнечный коллектор.

В классических СВУ композиционные материалы чаще всего используются с тыльной теплоизоляцией и остеклением частей корпуса. Остекление СВУ полностью созданных из композиционных материалов зависит от поисков недорогих материалов, которые способны работать при перепадах температуры до 180 °С и обработкой решений и способов аварийной защиты от теплопоглощающих

панелей СВУ. В серийно выпускаемых в настоящее время в России солнечных коллекторах (СК) полимерные материалы используются для изготовления прозрачной теплоизоляции или корпуса коллектора. Рассмотрены различные аспекты создания и практического применения гибридных (объединяющих в единой системе различные технологии и устройства аккумулирования энергии) накопителей энергии в транспортной, традиционной и возобновляемой энергетике. Показано, что появление новых типов аккумуляторов энергии и расширение спектра их эксплуатационных характеристик открыло благоприятные возможности для комбинирования различных видов накопителей и создания гибридных систем, что обеспечивает возможность улучшения массогабаритных характеристик накопителей энергии и существенной экономии средств на их эксплуатацию. При этом выполненный обзор разработок показал отсутствие в данной области универсальных технических решений, что определяет необходимость расширении исследований в этом перспективном направлении.

За рубежом, в основном в странах Европы, тоже проводились исследования возможности использования солнечных коллекторов и СВУ из полимерных материалов, при этом они также ориентированы на поиск решения задач снижения стоимости установок и коллекторов и теплоносителей с хорошими качествами.

Цели исследований в рамках программы: оценка сокращения затрат при использовании полимерных и композиционных материалов в СВУ и водонагревателях, разработка подходящих материалов и конструкций солнечных установок, разработка методов оценки долговечности и надежности таких материалов, проведение работы по разработке СК, которые полностью изготовлены из полимерных материалов и новейших полимерных материалов, а также выбор оптимальных вариантов теплоносителя с учетом специфики условия жаркого климата Республики Таджикистан. Таким образом, полимерные и композиционные материалы в солнечных водонагревателях используются в разных элементах конструкции с учетом изменения физико-химических (теплоемкость и теплопроводность) свойств теплоносителей на основе жидкого метилового спирта. Для определения теплоемкости и теплопроводности использован метод комплексного измерения (КТИ) [1]. На основе проведенного анализа существующих полимерных материалов, с учетом их технологичности и экономических показателей в ОИВТ РАН разработаны и изготовлены конструкции полностью полимерных солнечных коллекторов и солнечных водонагревательных установок. Корпус СВУ, изготовленный из стеклопла-

стика, который состоит из шести смежных секций, при объеме 20 л у каждой, т.е. емкость банки аккумулятора составляет 120 л (около 66 л/м^2). Поглощающая тонкостенная (1 мм) панель соединена корпусом. Прозрачное покрытие с корпусом соединено термостойким полиуретановым клеем, который обладает эластичным составом для предотвращения растрескивания отформованного полиметилметакрилата. В задней стороне СВУ пристроена теплоизоляция из пененного материала с добавлением стекловолокна, также теплоизоляция которого составляет единое целое с корпусом установки. Использование полимерных материалов создало условие для снижения удельной массы солнечных установок более чем в 2 раза, а стоимость 3 – 5 раз ниже стоимости известных традиционных солнечных установок. Результаты эффективности разработанных установок, полученных экспериментальным путем, дают возможность говорить об их эффективности и возможности практического использования. Таким образом, испытания СВУ аккумуляционного типа под действием каких либо вышеперечисленных нормативных документов не попадают. Тепловые (теплотехнические) испытания СВУ выполняются с целью экспериментального определения параметров ее модели, и номенклатура измеряемых параметров тесно связана с выбором модели, описывающей работу установки. Основным свойством СВУ, при ее эффективности, также является температура нагрева воды, которая поступает к потребителю, в зависимости от располагаемого притока солнечной энергии. Данные об обеспечении потребителя тепловой энергией можно получить путем экспериментальных исследований или при проводении численных расчетов с использованием программно-вычислительных комплексов инженерного анализа (CAE). Для того, чтобы зимой можно было успешно использовать солнечные коллекторы в качестве теплоносителя мы предлагаем использовать водные растворы метилового спирта для того, чтобы при заморозках теплоноситель не преобразовался в лед. Для теплотехнического расчета солнечных коллекторов и определения их коэффициента полезного действия необходимо иметь значения количества теплоты солнечных коллекторов в течение времени падения солнечных лучей.

Список литературы

1. Зарипова, М. А. Влияние наночастиц на изменение теплофизических, термо-динамических свойств некоторых кислородосодержащих, азотосодержащих органических жидкостей при различных температурах и давлениях: автореф. … д-ра техн. наук / М. А. Зарипова. – Казань, 2016.– 44 с.

HEAT CAPACITY, THERMAL CONDUCTIVITY OF THE COOLANT SYSTEM OF METHYL ALCOHOL AND WATER

F. Abdujalilzoda[1], M. A. Zaripova[2], B. M. Mahmadiev[1], T. R. Tilloeva[3], K. B. Saidzoda[1]

[1]Tajik Development Pedagogical University named after S. Aini, Dushanbe, Tajikistan

[2]Tajik Technical University named after Akad. M. S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan

[3]BMEI, Dushanbe, Tajikistan

Abstract. The paper presents the results of an experimental study of the heat capacity, thermal conductivity and a mechanism for changing the thermal properties of aqueous solutions at atmospheric pressure and at room temperature. On the basis of experimental data and the law of thermodynamic similarity, we obtained empirical relationships. The overall relative error in measuring the specific heat at a confidence probability of $\alpha = 0.95$ is 3.0 and 3.5%.

Keywords: methyl alcohol, coolant, heat capacity, thermal conductivity, water, temperature, solar collector.

УДК 536.212.2

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ NI-V ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Э. Р. Ахтямов[1], В. И. Горбатов[2, 3], В. Ф. Полев[2], И. Г. Коршунов[2], А. А. Куриченко[2]

[1]Институт УралНИИстром, Челябинск

[2]УГГУ, Екатеринбург

[3]ИТФ УрО РАН, Екатеринбург

gorbatov@ursmu.ru

Аннотация. Приводятся температурно-концентрационные зависимости коэффициента теплопроводности сплавов бинарной системы Ni-V. Установлено, что при температурах выше 1300 K зависимость теплопроводности сплавов от концентрации ванадия описывается U-образной кривой, минимум которой приходится на 25…30 ат. % V.

Ключевые слова: сплав, никель-ванадий, концентрационная зависимость, теплопроводность, температуропроводность.

Экспериментальные исследования теплофизических свойств сплавов переходных металлов при высоких температурах служат не только базой для дальнейшего развития высокотемпературной физики твердого тела, но и позволяет определить области практического использования новых материалов, обладающих уникальными характеристиками, к которым, в частности, относится система Ni-V. Согласно фазовой диаграмме, особые свойства при высоких температурах ей придают четыре интерметаллических соединения (Ni_3V, Ni_2V, σ, NiV_3), которые образуются ниже 1320 K из двух обширных областей ограниченных твердых растворов, расположенных на обоих концах диаграммы.

В данной работе приводятся и анализируются температурно-концентрационные зависимости коэффициента теплопроводности (λ) сплавов бинарной системы Ni-V в интервале от 800 до 1500 K, рассчитанные по измеренным значениям температуропроводности (a) с помощью термодинамического тождества

$$\lambda = a c_p \rho , \qquad (1)$$

где c_p – удельная теплоемкость; ρ – плотность сплава.

Изготовление данной серии сплавов и их аттестация были произведены в лаборатории прецизионных сплавов Института физики металлов УрО РАН.

Высокотемпературные измерения температуропроводности выполняли методом плоских температурных волн, реализованным на двух автоматизированных установках. В первой установке нагрев тонкого (0,4…1,0 мм) плоскопараллельного образца диаметром 10…12 мм и создание в нем температурных волн осуществляли частично модулированным пучком электронов. Во второй установке среднюю температуру образца изменяли и поддерживали постоянной с помощью ленточного вольфрамового нагревателя, а температурные волны в образце создавали модулированным излучением оптического квантового генератора (ОКГ) с длиной волны $\lambda = 10{,}6$ мкм. Информацию об температурных колебаниях на поверхности образца регистрировали фотоприемным устройством. Среднюю температуру образца измеряли с помощью термопары ВР5/ВР20. Погрешность измерения температуропроводности на этих установках не превышала 3%.

Определение удельной теплоемкости ряда сплавов проводилось на основе экспериментальных данных, полученных в результате дифференциального термического анализа исследуемого вещества, который проводился на приборе «Netzsch STA 449 C Jupiter» в динамической атмосфере аргона со скоростью нагрева/охлаждения 20 К/мин. В качестве эталонного материала с известной теплоемкостью использовался сапфир. Погрешность определения удельной теплоемкости при температурах выше 800 К составила 4%.

Рассчитанные по формуле (1) для 4-х значений температуры концентрационные зависимости коэффициента теплопроводности представлены на рис. 1. Составы изученных сплавов отмечены на рисунке положением маркеров.

Получено, что при $T > 1300$ К температурно-концентрационные зависимости теплопроводности имеют вид *U*-образных кривых, которые хорошо описываются соотношением

$$\lambda(c,T) = \frac{1}{\left[\dfrac{1-c}{\lambda_{Ni}} + \dfrac{c}{\lambda_V} + Ac(1-c) + Bc^2(1-c)(0.63-c)^2\right]}, \qquad (2)$$

где λ_{Ni} и λ_V – соответственно теплопроводности чистых компонентов Ni и V; c – концентрация ванадия; A и B – положительные константы.

Ниже 1300 K на температурно-концентрационных зависимостях появляются два локальных максимума, соответствующие стехиометрическим составам Ni_3V и Ni_2V, и одного локального минимума, приходящегося на область сигма-фазы.

Для выяснения роли решеточной теплопроводности с помощью закона Видемана-Франца проведена оценка температурной зависимости электронной компоненты теплопроводности. Для этой цели использовали число Лоренца $L_0 = 2{,}45 \cdot 10^{-8}$ $В^2/К^2$ и экспериментальные данные по удельному электросопротивлению, полученные нами стационарным четырехзондовым потенциометрическим методом. Следует заметить, что удельное электросопротивление и температуропроводность исследовались на образцах, вырезанных из одной и той же плавки.

Установлено, что вклад решеточной компоненты в общую теплопроводность сплавов при 800 K составляет ~30%, а при температурах выше 1300 K не превышает 10% (с учетом погрешности оценки).

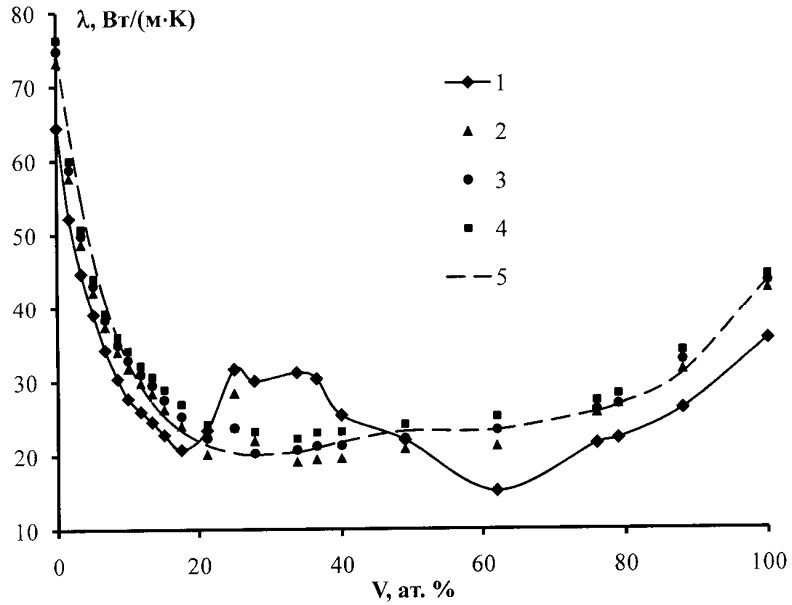


Рис. 1. Температурно-концентрационные зависимости коэффициента теплопроводности сплавов системы Ni-V:
1 – 800 K; *2* – 1300 K; *3* – 1400 K; *4* – 1500 K;
5 – расчет по формуле (2) для T = 1400 K

THERMAL CONDUCTIVITY OF ALLOYS OF NI-V SYSTEM AT HIGH TEMPERATURES

E. R. Akhtyamov[1], V. I. Gorbatov[2, 3], V. F. Polev[2], I. G. Korshunov[2], A. A. Kurichenko[2]

[1]Ural Research Institute of Construction Materials, Chelyabinsk
[2]Ural State Mining University, Yekaterinburg
[3]Institute of Thermal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg
gorbatov@ursmu.ru

Abstract. The temperature-concentration dependences of the thermal conductivity of Ni-V binary system alloys are given. It was found that at temperatures above 1300 K the dependence of the thermal conductivity of alloys on the concentration of vanadium is described by a U-shaped curve, the minimum of which is 25…30 at. % V.

Keywords: alloy, nickel-vanadium, concentration dependence, thermal conductivity, thermal diffusivity.

УДК 620.2-022.532

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ, ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА (СВМПЭ), ПОЛУЧЕННЫХ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКОЙ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ

Г. С. Баронин[1], В. М. Бузник[2], А. М. Столин[3], С. В. Мищенко[1], Ю. В. Воробьев[1], Н. В. Ушаков[4], С. П. Хрущев[1], Н. В. Воронин[1]

[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», Тамбов
baronin-gs@yandex.ru
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, Москва
bouznik@ngs.ru
[3]ФГБУН «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А. Г. Мержанова Российской академии наук», Черноголовка
amstolin@ism.ac.ru
[4]ЗАО «ПОЛИНИТ», Москва
POLINIT@mail.ru

Аннотация. Выявлена возможность регулирования структуры и свойств полимерных композитов на основе СВМПЭ малыми добавками наносиликатов: глауконита, цеолита КаХ и другими нанонаполнителями.

Разработана технология, позволяющая распространить известный метод легирования органических и неорганических материалов на технологию получения полимерных композиционных материалов с повышенными эксплуатационными показателями.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы (ПКМ), нанонаполнители, сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), глауконит, цеолит.

Одним из важных направлений современного материаловедения является получение полимерных композиционных материалов (ПКМ), в том числе с различными нанонаполнителями и разработка новых эффективных технологических процессов получения изделий с более высокими эксплуатационными характеристиками [1 – 3].

Целью работы является получение образцов изделий различного функционального назначения методами твердофазной технологии из композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного

полиэтилена (СВМПЭ) с различными наноразмерными наполнителями и изучение их теплофизических, триботехнических и других эксплуатационных свойств в зависимости от технологических параметров твердофазной технологии, типа модификатора и его концентрации в полимерной системе.

Полученные ПКМ с повышенными пределом прочности $\sigma_в$, модулем упругости E и износостойкостью I_m, относительной деформации в момент предела текучести δ образцов, пониженным пределом текучести $\sigma_т$ композита, на основе СВМПЭ с экстремальными показателями эксплуатационных свойств были выбраны для объемной штамповки готовых изделий различного функционального назначения.

Экспериментальная часть. Объектами исследования настоящей работы служили композиты на основе СВМПЭ производства ЗАО «ПОЛИНИТ», модифицированного наносиликатами глауконитом, цеолитом КаХ, нанографитом (НГ) и нанофтором (НФ).

Теплофизические исследования композитов проводили на модифицированном приборе DSC-2 производителя «Perkin-Elmer» (США), реализующем метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

Триботехнические исследования полимерных систем СВМПЭ + НГ, СВМПЭ + НФ, СВМПЭ + Глауконит и СВМПЭ + Цеолит КаХ проводили на машине МИР-1. при этом оценивали величину размерного I_l и весового I_m износа образцов наноразмерных композитов.

Порошкообразные нанонаполнители НГ, НФ, цеолит КаХ и глауконит (ГЛ) в количестве 0,01; 0,1; 1,0 и 10 масс. частей на 100 массовых частей СВМПЭ до смешения (30 мин) в электромагнитном смесителе MAXI-MI с СВМПЭ при 1000 об/мин подвергали обработке в механоактиваторе 2SL в течение 2 минут с охлаждением водой.

Следует отметить, что данные теплофизических свойств композитов СВМПЭ + нанографит и СВМПЭ + цеолит КаХ, полученные на приборе DSC–2, хорошо коррелируют не только с приведенными данными физико-механических свойств композитов, но и с данными теплофизических свойств исследований полимерных систем на основе СВМПЭ, полученных экспресс-методом [4], в первую очередь в области малых добавок наполнителей.

Физико-механические свойства полимерных систем на основе СВМПЭ изучали на универсальной испытательной машине УТС-101-5.

Объемную штамповку изделий различного функционального назначения в твердой фазе проводили на гидравлическом прессе ТС-12 усилием 20 тс.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты исследований теплофизических свойств полимерных систем «СВМПЭ + нанографит» «СВМПЭ + глауконит», «СВМПЭ + нанофтор» и «СВМПЭ + + цеолит КаХ» представлены на рис. 1, 2.

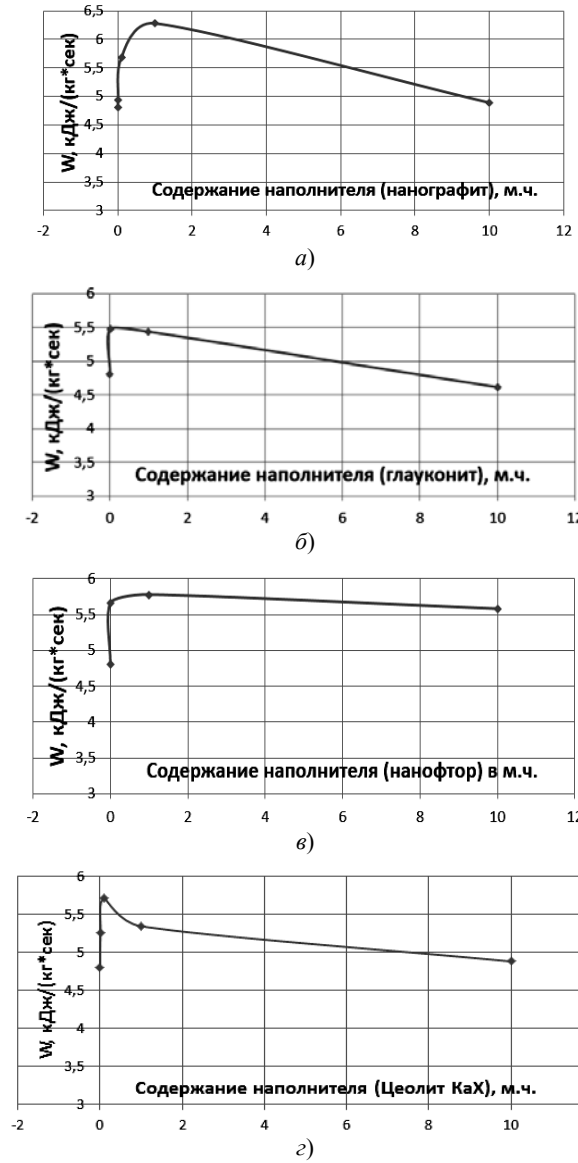
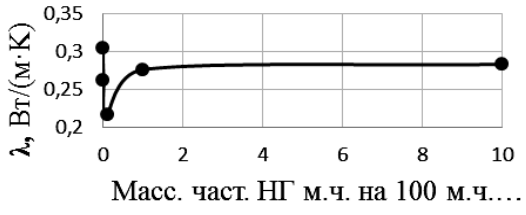
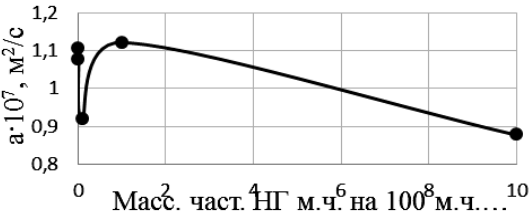


Рис. 1. Концентрационные зависимости удельной скорости поглощения энергии образцов СВМПЭ + нанографит (*а*), СВМПЭ + глауконит (*б*), СВМПЭ + нанофтор (*в*) и СВМПЭ + Цеолит КаХ (*г*) от содержания наполнителя



а)



б)

Рис. 2. Зависимость коэффициентов теплопроводности (*а*) и температуропроводности (*б*) полимерного композита СВМПЭ +нанографит от концентрации наполнителя

Максимальное значение *W* для полимерных систем СВМПЭ + + наносиликаты при концентрации нанонаполнителя (0,01…1 масс. частей на 100 масс. частей полимера) в температурном интервале плавления и сравнение площади под аномалиями в области плавления для нанокомпозитов и исходного СВМПЭ свидетельствует о том, что нанокомпозит с таким содержанием наполнителя имеет наибольшее межцепное взаимодействие в силу образования большего количества межмолекулярных связей между полимером и нанонаполнителем [3].

Наблюдаемое снижение величины *W* с увеличением содержания нанонаполнителя происходит из-за агрегирования наночастиц, связанного с уменьшением активности поверхностных слоев наполнителя.

На основании данных теплофизических исследований энергетического состояния исследуемых нанокомпозитов можно заключить, что наноразмерные наполнители НГ, НФ, цеолит КаХ и глауконит, прошедшие обработку в механоактиваторе, в концентрации до 1 масс. част. резко повышают взаимодействие в граничном слое полимер–наполнитель, делают структуру материала более жесткой за счет образования большего количества связей между полимерной матрицей и активными участками поверхности наноразмерного модификатора [3].

Разница в энергетическом состоянии СВМПЭ-нанокомпозита в сравнении с исходным СВМПЭ обуславливает прежде всего повышение всего комплекса физико-механических показателей системы: повышение предела прочности, предела текучести, модуля упругости при растяжении, относительной деформации в момент предела текучести, весового износа и твердости по Шору.

Исследования показали корреляцию теплофизических свойств СВМПЭ-нанокомпозитов с проведенными измерениями физико-механических показателей данных полимерных систем.

Таким образом, на основании теплофизических исследований, оценки физико-механических свойств и триботехнических исследований, показано существование корреляции между максимальной скоростью поглощения энергии W_{max} в области плавления, пределом текучести, пределом прочности, модулем упругости при растяжении и износостойкостью полимерных нанокомпозитов на основе СВМПЭ.

Иными словами, появляется возможность управления свойствами СВМПЭ-нанокомпозитов: как составом, так и процессом их переработки в изделия различного функционального назначения (высокопрочные и ударопрочные футеровочные плиты конструкционного назначения, теплотехнические изделия, триботехнические изделия, рабочие колеса вакуумнасоса, подковы рысистых лошадей, детали механоактиватора углеводородных топлив и др., см. рис. 3).

Характер изменения комплекса свойств полимерной системы в области малых добавок и наличие точки экстремума указывает на переход системы из однофазной в двухфазную (спинодальный распад) и наоборот [7]. В точке экстремума система находится в метастабильном состоянии, где отмечается наивысшая дисперсность модифицирующей добавки в полимерной матрице и, следовательно, наивысшая гомогенность системы. Следует отметить, что схожие механизмы отмечены для полимерных смесей и сплавов, компоненты которых находятся в наноструктурированном состоянии [6].

При переходе системы из однофазной к двухфазной (расслаивание) выделяющаяся фаза находится в высокодисперсном состоянии и образует термодинамически устойчивую систему с размером частиц не выше нескольких десятков нанометров. Межфазный слой в такой полимерной системе в силу близости к критическим условиям имеет значительную толщину, а межфазная поверхность велика. Высокоразвитая поверхность раздела фаз в переходных областях граничного слоя полимера в нанокомпозитах и наличие частиц нанометрового размера и приводит к экстремальному изменению физико-химических свойств полимерной системы в данной концентрационной области, т.е. являются определяющими факторами.

Рис. 3. Изделия из СВМПЭ-композитов, полученные твердофазной объемной штамповкой:
1 – рабочее колесо центробежного насоса; *2* – рабочее колесо привода снегохода «Рысь»; *3* – детали механоактиватора моторного топлива; *4* – заготовки для штамповки рабочего колеса жидкостнокольцевого вакуум-насоса; *5* – рабочие колеса жидкостнокольцевого вакуум-насоса; *6* – заготовка для штамповки подковы рысистых лошадей; *7* – подковы для рысистых лошадей

Заключение. Главным достоинством созданных нанокомпозитов на основе СВМПЭ является тот факт, что наноразмерные силикаты, прошедшие обработку в механоактиваторе, теряют способность к агломерации, но в то же время экстремально взаимодействуют с компонентами полимерной матрицы, сохраняя свой основной комплекс физических характеристик, образуют определенные управляемые микро- и макроструктуры, ответственные за изменение эксплуатационных показателей готовых изделий.

Список литературы

1. Металлополимерные нанокомпозиты / В. М. Бузник, В. М. Фомин, А. П. Алхимов и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. Интеграционные проекты СО РАН. – Вып. 2. – 260 с.

2. Механохимические методы получения композитных материалов металл-керамика-политетрафторэтилен / О. И. Ломовский, А. А. Политов, Д. В. Дудина, М. А. Корчагин, В. М. Бузник // Химия в интересах устойчивого развития. – 2004. – № 12. – С. 619 – 626.

3. Исследование строения и свойств полимерных композитов на основе политетрафторэтилена и наночастиц кобальта / Г. С. Баронин, В. М. Бузник, Г.Ю. Юрков и др. // Перспективные материалы. – 2014. – № 7. – С. 50 – 61.

4. Селиванова, З. М. Интеллектуальная информационно-измерительная система для определения теплофизических свойств материалов и изделий / З. М. Селиванова, А. А. Самохвалов // Измерительная техника. – 2012. – № 9. – С. 38 – 42.

5. Переработка полимеров в твердой фазе. Физико-химические основы / Г. С. Баронин, М. Л. Кербер, Е. В. Минкин, Ю. М. Радько. – М.: Машиностроение-1, 2002. – 320 с.

6. Баронин, Г. С. Твердофазная технология переработки полимерных нанокомпозитов / Г. С. Баронин, М. Л. Кербер, К. В. Шапкин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2005. – Т. 11, № 2А. – С. 432 – 438.

7. Кулезнев, В. Н. Смеси полимеров / В. Н. Кулезнев. – М.: Химия, 1980. – 304 с.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ВУЗа на 2017 – 2019 гг. № 9.7746.2017/БЧ.

THERMOPHYSICAL, TRIBOTECHNICAL AND PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES POLYMER NANOCOMPOSITES AND ARTICLES FROM ULTRA-HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE (UHMWPE), OBTAINED DIE FORGING IN THE SOLID PHASE

G. S. Baronin[1], V. M. Buznik[2], A. M. Stolin[3], S. V. Mishchenko[1], V. Vorobyev[1], N. V. Ushakov[4], S. P. Khrushche[1], N. V. Voronin[1]

[1]Tambov State Technical University, Tambov
REC TambSTU-ISMAN "Solid state technology", Tambov
baronin-gs@yandex.ru
[2]All-Russian Research Institute Aviation Materials, Moscow
bouznik@ngs.ru
[3]Institute of Structural Macrokinetics and Problems Materials Science named after A. G. Merzhanov, Russian Academy of Sciences, Chernogolovka
amstolin@ism.ac.ru
[4]ЗАО "PAULINA", Moscow
POLINIT@mail.ru

Abstract. The possibility of regulating the structure and properties of polymer composites based on UHMWPE with small additives of nanosilicates: glauconite, zeolite KACH and other nanofillers was revealed. The technology allowing to extend the known method of doping of organic and inorganic materials on technology of production of polymeric composite materials with the raised ekspluata-tion indicators is developed.

Keywords: polymer composite materials (PCM), nanofillers, ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE), glauconite, zeolite.

УДК 536.24

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ЗАМКНУТЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ КОНИЧЕСКИХ И ЛАБИРИНТНЫХ ПОЛОСТЯХ

В. В. Ветров, А. А. Воробьев
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула
andreyv_v@yandex.ru

Аннотация. На основе результатов численных экспериментов получены критериальные зависимости коэффициентов конвекции для осесимметричных цилиндрических и конических замкнутых воздушных полостей, подверженных внешнему нагреву и осевому вращению. При этом рассмотрены однослойные цилиндрические полости и двухслойные с перфорирующими внутренними отверстиями.

Ключевые слова: конвективный теплообмен, замкнутая воздушная полость, вращение, коэффициент конвекции.

На основе сравнения результатов компьютерного моделирования с данными физического эксперимента, выполненного с помощью специализированной экспериментальной установки, подтверждена адекватность используемых в современных программных продуктах математических моделей [1]. Это дает возможность проводить численное моделирование рассматриваемых процессов конвективного теплопереноса в замкнутых вращающихся полостях в трехмерной постановке для сложных конструкций.

Конические полости с конусностью 10…20° и полости цилиндрической формы, разделенные вставками с отверстиями (например, основания и рамки гироскопов, корпуса и элементы крепления оптоэлектронных приборов и т.п.) широко распространены в различных модификациях конструктивного исполнения носовых отсеков высокоскоростных летательных аппаратов, имеющих осевое вращение, поэтому получение критериальных зависимостей для оценки коэффициента конвекции в таких полостях представляет практический интерес.

Рассматриваемая полость конической формы состоит из корпуса и медного тепломера, с торцов она ограничена теплоизолирующими дисками (рис. 1, *а*). Предполагалось, что полость заполнена сухим воздухом при начальной температуре 20 °С. В качестве режима нагрева выбран нагрев корпуса при постоянной температуре 220 °С в течение 100 секунд. Численные эксперименты проводились для следующих скоростей вращения полости: 0, 5, 10, 20 и 40 об/с.

Результаты компьютерного моделирования конвективного теплопереноса представлены на рис. 1, *а* в виде зависимостей средней температуры тепломера от времени и скорости вращения и на рис. 1, *в* в виде картин температурных полей в продольном и поперечном сечениях для момента времени 80 с. Температурные зависимости (рис. 2, *б*), определяющие тепловой режим конической полости, и соотношение метода монотонного нагревания замкнутого слоя позволили рассчитать значение среднего коэффициента конвекции (рис. 2, *а*). Видно, что при увеличении скорости вращения от 0 до 40 об/с коэффициент конвекции возрастает в 3,5 раза. При критериальной обработке экспериментальных данных (рис. 2, *б*) получена зависимость коэффициента конвекции от скорости осевого вращения для замкнутых осесимметричных объемов конической формы с конусностью 10…20°:

$$\varepsilon_{\text{вр}} = 0{,}105 \cdot \left(Ra_{\text{вр}}\right)^{0{,}3}. \qquad (1)$$

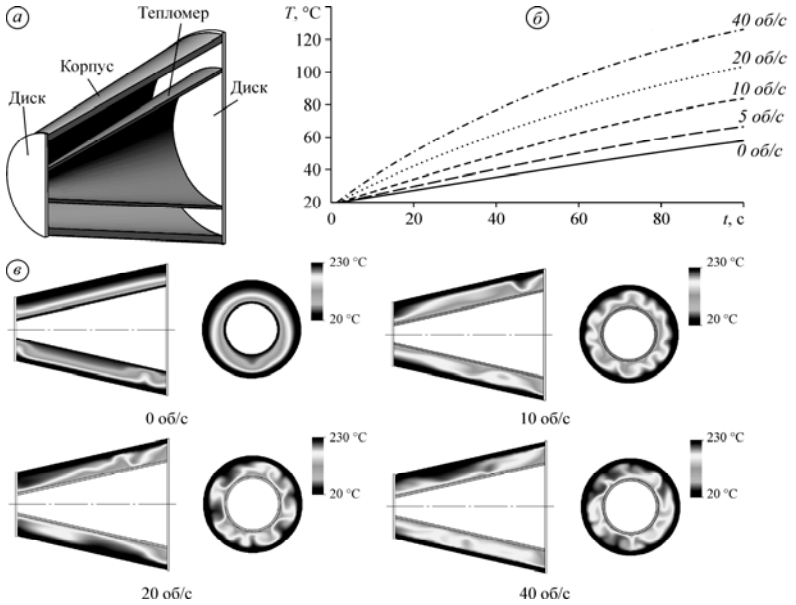
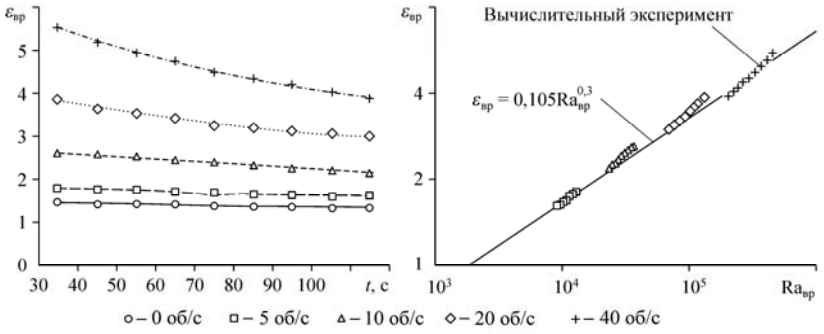


Рис. 1. Компьютерное моделирование конвективного теплопереноса в конической полости с конусностью 15° при ее внешнем нагреве и осевом вращении:
а – геометрия полости; *б* – зависимости средней температуры тепломера от времени и скорости вращения;
в – температурные поля (момент времени 80 с)



а) *б*)

Рис. 2. Зависимость коэффициента конвекции от времени для различных скоростей осевого вращения конической полости с конусностью 15° (*а*) и обработка экспериментальных данных (*б*)

Рассматриваемая лабиринтная полость состоит из корпуса и медного тепломера. Между корпусом и тепломером в середине полости располагается цилиндрическая пенопластовая вставка толщиной 1 мм с отверстиями разной площади. С торцов полость ограничена теплоизолирующими дисками. Геометрия и относительная площадь отверстий ($S_{отн\ отв}$) для различных конфигураций лабиринтных полостей представлены на рис. 3, *а*.

Предполагалось, что полость заполнена сухим воздухом при начальной температуре 20 °С. Режим нагрева аналогичен нагреву конической оболочки. Численные эксперименты проводились для скоростей вращения 0, 5, 10 и 20 об/с. Кроме того, был выполнен расчет для полости при отсутствии вставки, когда относительная площадь отверстий равна 100 % (конфигурация 5). При проведении компьютерного моделирования не учитывался перенос тепла за счет излучения, так как его доля при выбранном режиме нагрева составляет 5…7% от количества тепла, переносимого к тепломеру за счет конвекции.

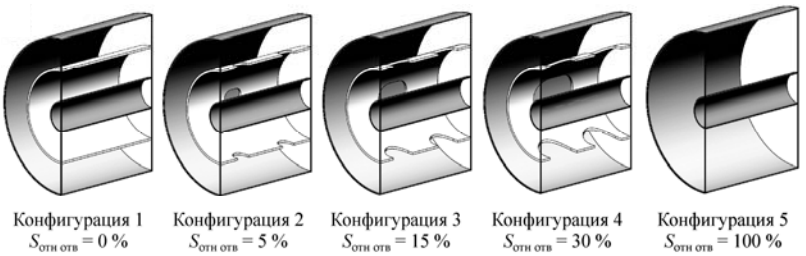
Результаты моделирования теплопереноса в лабиринтных полостях в виде критериальных зависимостей представлены на рис. 3, *б*. Анализ данных зависимостей для скорости вращения 5 об/с показывает, что процессы теплопереноса относятся к области взаимного влияния гравитационного и центробежного полей массовых сил, а при больших скоростях вращения (10 и 20 об/с) центробежное поле массовых сил доминирует над гравитационным. Последнее обстоятельство позволяет привести их к следующему обобщенному виду:

$$\varepsilon_{\text{вр}} = K_i \cdot 0{,}085 \cdot \left(Ra_{\text{вр}}\right)^{0{,}3}, \qquad (2)$$

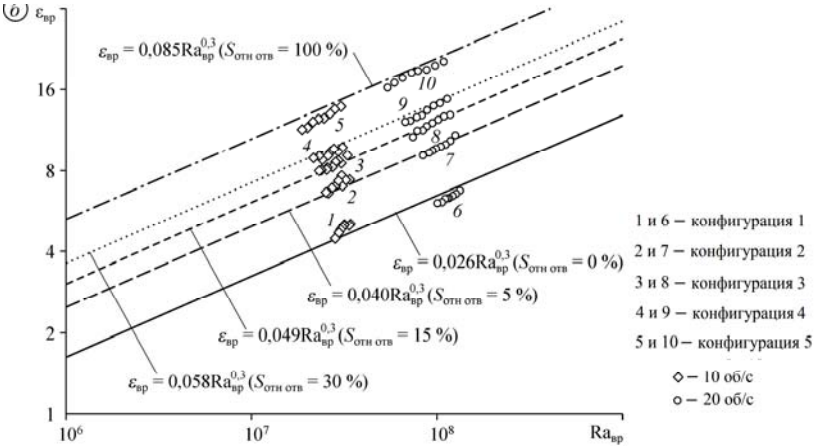
где K_i – коэффициент, учитывающий влияние относительной площади отверстий лабиринтной вставки и рассчитываемый по формуле

$$K_i = 0{,}3 + 0{,}7 \cdot \left(S_{\text{отв}} / S_{\text{вст}}\right)^{0{,}5}, \qquad (3)$$

здесь $S_{\text{отв}}$ – суммарная площадь отверстий во вставке; $S_{\text{вст}}$ – площадь внутренней боковой поверхности вставки.



а)



б)

Рис. 3. Вычислительный эксперимент по исследованию теплопереноса в лабиринтных полостях:
а – конфигурации исследуемых лабиринтных полостей;
б – критериальная обработка экспериментальных данных

Таким образом, результаты численного моделирования подтверждают гипотезу об интенсификации процессов конвективного теплопереноса внутрь замкнутых воздушных полостей при их внешнем нагреве и осевом вращении относительно продольной оси симметрии. При этом для замкнутых полостей различных геометрий (конических, цилиндрических однослойных и с перфорированными вставками) получены новые критериальные зависимости (1)…(3) коэффициента конвекции ($\varepsilon_{вр}$) от модифицированного числа Релея ($Ra_{вр}$), которое учитывает центробежное ускорение воздушной полости. Полученные зависимости позволяют свести задачу идентификации тепловых режимов в конструкциях сложных технических систем к решению задач теплопроводности разнородного твердого тела.

Список литературы

1. Ветров, В. В. Конвективный теплоперенос в замкнутых осесимметричных полостях различной конфигурации в условиях их осевого вращения и внешнего нагрева / В. В. Ветров, А. А. Воробьев // Теплофизика и аэромеханика. – 2017. – Т. 24, № 2. – С. 267 – 282.

THE STUDY OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN A CLOSED ROTATING CONICAL AND LABYRINTH CAVITIES

V. V. Vetrov, A. A.Vorobyev
Tula State University, Tula
andreyv_v@yandex.ru

Abstract. Based on the results of numerical experiments, the criterion dependences of convection coefficients for axisymmetric cylindrical and conical closed air cavities exposed to external heating and axial rotation are obtained. Both single-layer cylindrical cavities and two-layer ones with perforating internal holes have been considered.

Keywords: convective heat transfer, closed air cavity, rotation, convection coefficient.

УДК 536.21.23.

ВЛИЯНИЕ ПОЛИСТИРОЛА НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ЖИДКОГО БЕНЗОЛА ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Р. Дж. Давлатов[1], А. Неъматов[1], М. М. Гуломов[2], М. М. Сафаров[3]
[1]Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни, Душанбе, Таджикистан
[2]Технический колледж ТТУ имени акад. М. С. Осими, Душанбе, Таджикистан
[3]Филиал МГУ имени М. В. Ломоносова, Душанбе, Таджикистан
mahmad1@list.ru

Аннотация. Приводятся результаты экспериментального исследования теплоемкости и механизма изменения теплоемкости растворов при атмосферном давлении и комнатной температуре. Для исследования теплоемкости растворов системы бензол и полистирол нами использован комплекс теплофизических измерений (КТИ) (разработан профессором М. М. Сафаровым и его учениками). На основе экспериментальных данных и закона термодинамического подобия нами получены эмпирические зависимости. Общая относительная погрешность измерения теплоемкости и теплопроводности при доверительной вероятности $\alpha = 0{,}95$ соответственно равны 3,0 и 3,5%.

Ключевые слова: полистирол, жидкий бензол, теплоемкость, плотность, вода, температура.

Теплоемкость полимеров при 298 К можно приближенно определить по молекулярным данным [1] для чередующегося звена. В работе [1] показано, что теплоемкость полимера при 298 К линейно зависит от молекулярного комплекса $F = (\text{CM}')/(\text{Zn})$, где n – число атомов в элементарном звене.

Для пластмасс получено эмпирическое уравнение:

$$C_p = 20 + 1{,}11 = [(\text{CM}')/(\text{Zn})], \qquad (1)$$

где C_p выражено в кДж/(кмоль К).

Среднее отклонение расчетных данных от прежних составило ±12,6%. Формула (1) справедлива для пластмасс, имеющих $F = 26\ldots285$ при $E/n = 2\ldots4$. Экспериментально установлено, что $\Delta C_p = 11{,}5$ кДж/(кмоль К).

Низкотемпературная зависимость теплоемкости полностью кристаллизованного полиэтилена (КПЭ) в интервале $0 > T \geq 9$ К выражается формулой [2]:

$$LgC_p = 3LgT - 3{,}95 \quad (2)$$

или

$$C_p = 0{,}1104 \cdot 10^{-3} T^3. \quad (3)$$

Уравнение (3) позволяет рассчитать удельную изобарную теплоемкость кристаллического полиэтилена в зависимости от температуры, т.е. до температуры плавления КПЭ в передел погрешности опыта. Как видно из уравнения (3) с ростом температуры удельная изобарная теплоемкость растет по кубическому закону.

В таблице 1 приведены теплофизические свойства жидкого бензола в зависимости от температуры при $P = 0{,}101$ МПа.

В таблице 1 приведены экспериментальные значения теплофизических свойств жидкого бензола, которые представлены в работе [3]. В данной таблице приведены также наши данные, в частности, в столбцах 9–10 представлены теплопроводность, кинематическая вязкость и критерии подобия (число Прандтля) при различных температурах и атмосферном давлении.

Надо отметить, что на основе экспериментальных данных бензола теплопроводность, плотность и удельная изобарная теплоемкость жидкого бензола в зависимости от температуры при атмосферном давлении ($P = 0{,}101$ МПа) определяется следующей формулой:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_p \rho}, \quad (4)$$

где α – коэффициент теплопроводности, Вт/(м К); C_p – удельная изобарная теплоемкость, Дж/(кг К); ρ – плотность (исследуемых образцов (кг/м^3).

Температурная зависимость температуропроводности жидкого бензола приведены в столбце 5 табл. 1.

По значениям экспериментальных данных плотности, коэффициента кинематической вязкости и температуропроводности бензола рассчитана кинематическая вязкость и число Прандтля следующими формулам:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (5)$$

и

$$\mathrm{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}, \quad (6)$$

где η – коэффициент динамической вязкости, (Па с); ρ – плотность, (кг/м^3); a – температуропрводность (м^2/с) исследуемых образцов при различном давлении. Данные полученные на основе уравнения (5) и (6) приведены в табл. 1 (столбцы 9 и 10).

1. Теплофизические свойства бензола в зависимости от температуры при атмосферном давлении

T, К	ρ, кг/м^3	λ, 10^3, Вт (м·К)	η·10^6, Па·с	σ·10^3, Н/м	C_p, Дж/(кг·К)	α_P, 10^3, 1/К	α·10^7, м^2/с	ν·10^6, м^2/с	$\mathrm{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}$
293	888	146,5	650	29,0	1729	1,22	0,950	0,732	7,71
310	870	145,0	510	26,5	1760	1,25	0,957	0,586	6,13
333	836	136,0	390	23,7	1925	1,30	0,845	0,467	5,53
353	817	130,0	316	21,2	1940	1,37	0,820	0,387	4,42
373	793	125,6	261	17,8	2118	1,43	0,748	0,329	4,39
393	769	120,9	219	16,4	2177	1,57	0,722	0,285	3,94
438	713	116,0	148	11,2	2330	2,02	0,698	0,208	2,98
487	656	103,9	98,0	6,1	2537	–	0,624	0,149	2,39
527	546	93,5	62,4	2,4	2708	–	0,632	0,114	1,80
554	439	79,6	41,0	0,3	2710	–	0,669	0,093	1,39

Для измерения теплоемкости раствора системы бензол и полистиролов нами использована экспериментальная установка. Результаты исследования теплоемкости приведены в табл. 2.

Образец N1 – (бензол + 0,2 г/дл ПС),Образец N2 – (бензол + + 0,4 г/дл ПС), Образец N3 – (бензол + 0,6 г/дл ПС), Образец N4 – (бензол + 0,8 г/дл ПС), Образец N5 – (бензол + 1,0 г/дл ПС).

2. Теплоекость (C_p, Дж/кг. К) системы (бензол + полистирол) при различных температурах и концентрации

Образец	N1	N2	N3	N4	N5
293	1715,0	1701,8	1688,3	1672,8	1659,3
310	1745,8	1731,1	1716,7	1702,2	1687,8
333	1905,0	1889,0	1871,2	1853,1	1835,1
353	1921,6	1904,2	1884,8	1866,4	1848,9
373	2095,9	2074,0	2051,1	2030,0	2008,0
393	2153,8	2130,5	2107,2	2084,1	2060,9
438	2303,7	2277,4	2251,0	2224,7	2198,4
487	2506,5	2475,9	2445,5	2414,9	2381,8
527	2674,0	2640,1	2606,2	2572,2	2539,4
554	2675,9	2641,9	2607,9	2573,8	2539,8

Как видно из табл. 2, с ростом температуры теплоемкость и исследуемых растворов растет, рост концентрации полистирола приводит уменьшению удельной изобарной теплоемкости бензола. Например, при увеличении концентрации полистирола до 1,0 г/дл, при температуре 293 К теплоемкость уменьшается на 4,05%, а при температуре 554 К это уменьшение доходит до 6,28%. По нашим предположениям это связно с изменением плотности растворов при добавке полистирола.

При обработке экспериментальных данных по теплоемкости полимерных растворов бензола с применением закона термодинамического подобия нами получено следующее эмпирическое уравнение, с помощью которого можно рассчитать теплоемкость растворов бензола и полистирола с погрешностью 2,72%.

$$C_p = [0{,}65(T/T_1) + 0{,}35](2116{,}8 - 108{,}8n), \text{ Дж/(кг К)}, \qquad (7)$$

где $T_1 = 373$ К; n – общая концентрация полистирола в растворах, (г/дл);

Надо отметить, что с помощью эмпирического уравнения (7), можно рассчитать удельную изобарную теплоемкость исследуемых растворов системы (бензол +ПС) в интервале температур (293 – 554) К при атмосферном давлении с погрешностью до 2,72%, для этого необходимо иметь определенное значение объемной концентрации полистирола. Для отдельных точек эта разность доходит до 6%.

Список литературы

1. Черепенников, И. А. Приближенная оценка теплопроводности полимеров по молекулярным данным / И. А. Черепенников // Применение полимерных материалов в машиностроении: краткие тез. докл. обл. науч.-техн. конф. – Тамбов,1977. – С. 8 – 10.

2. Годовский, Ю. К. Теплофизика полимеров / Ю. К. Годовский. – М., 1982. – 280 с.

3. Черепенников, И. А. Некоторые возможности прогнозирования свойства полимеров / И. А. Черепенников // Применение полимерных материалов в машиностроении: краткие тез. докл. обл. науч.-техн. конф. – Тамбов,1977. – С. 10 – 12.

POLYSTYRENE INFLUENCE ON CHANGE OF HEAT CAPACITY OF LIQUID BENZENE AT ATMOSPHERIC PRESSURE AT VARIOUS TEMPERATURES

R. J. Davlatov[1], A. Nematov[1], M. M. Gulomov[2], M. M. Safarov[3]
[1]Tajik State Pedagogical University named after S. Aini, Dushanbe, Tajikistan
[2]Technical College of the Acad. M. S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan
[3]Branch of Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Dushanbe, Tajikistan
mahmad1@list.ru

Abstract. The paper presents the results of an experimental study of the heat capacity and the mechanism of the change in the heat capacity of solutions at atmospheric pressure and room temperature. To study the heat capacity of solutions of the benzene and polystyrene systems, we used a set of thermo physical measurements (CTI) (developed by Professor M. M. Safarov and his students). On the basis of experimental data and the law of thermodynamic similarity, we obtained empirical relationships. The total relative error in measuring heat capacity and thermal conductivity at a confidence probability of $\alpha = 0.95$ is 3.0% and 3.5%, respectively.

Keywords: polystyrene, liquid benzene, heat capacity, density, water, temperature.

УДК 626:54.08:53.05:550

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОТЖАТИЯ ПОДЗЕМНЫХ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД ПРЕСНЫМИ ФИЛЬТРАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ

С. К. Давлатшоев[1], М. М. Сафаров[2]

[1]Таджикский технический университет имени акад. М. С. Осими, Душанбе, Таджикистан
salomatda@list.ru
[2]Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова, Душанбе, Таджикистан
mahmad1@list.ru

Аннотация. Рассматривается создание системы мониторинга изменения гидрогеохимического режима в основании плотины Рогунской ГЭС методом кондуктометрического анализа в зависимости от изменения уровня воды в реке Вахш. Система позволяет в реальном масштабе времени следить за явлением конвективно-диффузионного отжатия подземных минерализованных вод пресными фильтрационными потоками и переносом солевой составляющей по пути фильтрации вследствие гидростатического давления.

Ключевые слова: мониторинг, гидрогеохимический режим, основания плотины, фильтрация, кондуктометр, отжатия, конвекция, диффузия, минерализация, гидростатическое давление.

Учитывая инженерно-геологические особенности (гидрогеохимические условия вокруг солевого пласта, физико-механические и фильтрационные характеристики пород, отжатие минерализованных вод фильтрационными потоками пресных вод) предлагается следующая схема размещения кондуктометрических измерений пласта соли из солевой штольни (рис. 1).

Проектом Рогунской ГЭС на всей длине защищаемого пласта соли (1100 м) для всех видов наблюдения предусмотрено 12 наблюдательных створов. Исходя из этого, в предложенной схеме предусмотрено 12 створов кондуктометрических измерителей, совмещенных с наблюдательными створами, утвержденными проектом.

По каждому створу по глубине в схеме предусматривается на четырех уровнях размещения кондуктометрических измерителей:

1-й уровень на отметке 965,0 м, где на этом уровне находится оголовок солевого пласта;

2-й уровень на отметке 910,0 м, где размыв пласта соли до отметки 910 м, т.е. на глубину 50 м оценивается как опасный, при котором может начаться формирование зон растягивающих напряжений в районе расположения водопропускных и водоприемных сооружений;

3-й и 4-й уровень на отметке 850,0 м и 760,0 м, для определения скорости, глубины отжатия минерализованных вод и изменения границы уровня слабо и сильноминерализованных вод в зависимости от действующего напора на верхнем бьефе.

Информация с автоматических измерительных устройств ($C_{i,j}$, где $i = 1…12$, $j = 1…4$), установленных на пункте измерения, по телеметрическим каналам (блок 1 – 12) поступает в центр мониторинга (через блок 13), который осуществляет накопление, классификацию, оценку информации и обеспечивает подачу предупредительных сигналов на пульт управления системой защиты соли. Такая организация мониторинга дает возможность осуществлять всесторонний контроль накопленных данных и проводить перспективное планирование мероприятий, направленных на сохранение заданного режима эксплуатации системы.

При поднятии уровня воды в водохранилище происходит изменение гидрогеохимического режима в основание плотины вследствие гидростатического давления. Под действием фильтрационных потоков граница слабо- и сильноминерализованных подземных вод опускается вниз [1, 2]. В этих условиях приборы, установленные для измерения концентрации рассола в пределах солевого экрана, должны иметь показания, удовлетворяющие условию: $C_э = C_н$, где $C_э$ – концентрация рассола в экранирующем слое; $C_н$ – насыщенная концентрация рассола, подаваемого в скважины солевого экрана.

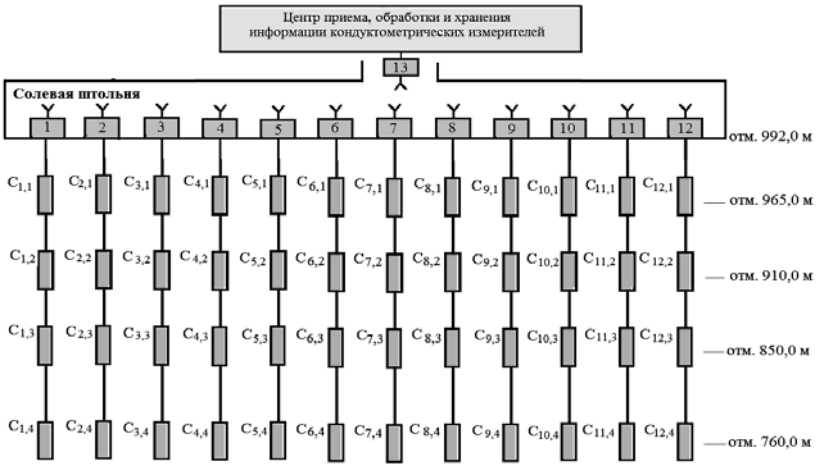


Рис. 1. Схема расположения кондуктометрических измерителей пласта соли из солевой штольни

Возрастание $C_э$ до величин, значительно превышающих $C_н$, свидетельствует о наличии в этом месте очага растворения соляной толщи, а снижение $C_э$ до значений $C_э < C_н$ говорит об отсутствии сплошности солевого экрана и просачивании пресных вод в сторону пласта соли.

При повышении уровня воды в водохранилище происходит увеличение фильтрационных потоков в основании плотины. Пресная вода в зависимости от действующего напора проникает по имеющимся трещинам, достигая высокоминерализованных вод, защищающих пласт соли. Пресная вода проникает в слой минерализованных вод под действием конвективно-диффузионных процессов и происходит отжатие минерализованных вод. Дальше под действием фильтрационных потоков отжатая часть минерализованных вод переносится дальше от солевого пласта. Нарушается гидрогеохимический режим в основание плотины.

Предложенная система мониторинга на основании матрицы расположения кондуктометрических измерителей позволяет определить концентрацию диффундирующего вещества в заданной точке в любой момент времени.

Список литературы

1. Давлатшоев, С. К. Кондуктометрический способ и аппаратура измерения уровня минерализации в пьезометрических сетях / С. К. Давлатшоев, М. М. Сафаров // Вестник технологического университета. – Казань, 2017. – Т. 20, № 18. – С. 45 – 52.

2. Давлатшоев, С. К. Оценка взаимодействия фильтрационного потока на гидрогеохимический режим основания плотины кондуктометрическим методом / С. К. Давлатшоев // Вестник Таджикского национального университета. Сер. естественных наук. – Душанбе: Сино, 2017. – № 1/3. – С. 129 – 134.

HYDROGEOCHEMICAL MONITORING FOR THE PRESSURE OF UNDERGROUND MINERALIZED WATERS BY FRESH FILTRATION FLOWS

S. K. Davlatshoev[1], M. M. Safarov[2]
[1]Tajik Technical University named after akad. M. S. Osimi, Dushanbe, Таджикистан
salomatda@list.ru
[2]Branch of Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Dushanbe, Таджикистан
mahmad1@list.ru

Abstract. The article considers the creation of a monitoring system for the change in the hydrogeochemical regime at the base of the dam of the Rogun HPP by conductometric analysis, depending on the change in the water level in the Vakhsh River. The system allows real-time monitoring of the phenomena of convective-diffusion squeezing of underground mineralized waters by fresh filtration flows and the transfer of the salt component along the filtration path due to hydrostatic pressure.

Keywords: monitoring, hydrogeochemical regime, dam bases, filtration, conductometer, depressions, convection, diffusion, mineralization, hydrostatic pressure.

УДК 626:54.08:53.05:550

КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ОТЖАТИЯ ПОДЗЕМНЫХ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД

С. К. Давлатшоев[1], М. М. Сафаров[2]
[1]Таджикский технический университет имени акад. М. С. Осими, Душанбе, Таджикистан
salomatda@list.ru
[2]Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова, Душанбе, Таджикистан
mahmad1@list.ru

Аннотация. Рассматриваются результаты исследования изменения гидрогеохимического режима в створе основания плотины Рогунской ГЭС методом кондуктометрического анализа в зависимости от изменения уровня воды в реке Вахш. Полученные результаты подтверждают явления конвективно-диффузионного отжатия подземных минерализованных вод пресными фильтрационными потоками и перенос солевой составляющей по пути фильтрации вследствие гидростатического давления.

Ключевые слова: гидрогеохимический режим, основания плотины, фильтрация, пьезометрическая скважина, кондуктометр, отжатия, конвекция, диффузия, минерализация, гидростатическое давление.

Результаты исследования отжатия подземных минерализованных вод пресными фильтрационными потоками в основание плотины могут использоваться при решении различных инженерно-гидрогеологических, гидрогеохимических и геоэкологических задач.

Задачи этих исследований заключаются в следующем:

– анализ влияния колебаний уровня реки Вахш на изменение уровня минерализации подземных вод в пьезометрических скважинах;

– изучение гидрохимической обстановки подземных вод на левобережном участке Ионахшского разлома до перекрытия русла реки Вахш (в естественных условиях);

– изучение изменения степени минерализации подземных вод в доле пласта соли.

Кондуктометрия является надежным и относительно дешевым электрохимическим средством измерения с небольшим энергопотреблением, которая позволяет применять ее для контроля концентрации электролитов и водно-солевых растворов по величине их удельной электропроводимости [1].

В ноябре и декабре 2011 года проведены два цикла измерений кондуктометрическим методом. Измерения минерализации проведены в 16 пьезометрических скважинах, расположенных на левобережном

участке Ионахшского разлома чрез каждый 1 м глубины. Всего за два месяца произведено 839 определений. В качестве примера проанализируем изменения уровня минерализации подземных вод в пьезометре № 29[а] (рис. 1).

В графике указана глубина расположения оголовки соли на глубине 39 м (Д). В измерениях, проведенных в ноябре 2011 г. глубина фильтрации пресных вод достигает 24 м (С). В измерениях, проведенных в декабре 2011 г. глубина фильтрации пресных вод уменьшается до 20 м.

Результаты исследования доказывает, что в обоих измерениях, начиная с глубины 24 м (С) и 20 м (А) до глубины 40 м (Б) в измерениях проведенных в декабре 2011 г., и глубже в измерениях, проведенных в ноябре 2011 г. происходит конвективно-диффузионное отжатие подземных минерализованных вод.

В примере отчетливо видно, что скорости фильтрации пресных вод $V_ф$ больше скорости конвективно-диффузионных отжатий подземных минерализованных вод $V_{кдо}$.

По результатам анализа выполненных работ была выявлена взаимосвязь изменения границ минерализованных вод по площади и по вертикали от колебания уровня воды в реке Вахш (табл. 1). Исследования показали, что при понижении уровня воды в реке Вахш на 0,26…0.40 м, минерализация подземных вод в пьезометрах увеличивается в пределах от 16 до 130 г/л [2, 3].

Рис. 1. График изменения минерализации в пьезометре П-29[а]

1. Сопоставление изменения минерализации воды в пьезометрических скважинах от колебания уровня воды в реке Вахш

№ скв	Глубина скв. (м)	Абс. отм. уст. скв (м)	Отм. измерения минерализациии (м)	Уровень минерализации *C* (г/л)		Отм. уров. воды в реке Вахш (м)		Разница минерализации Δ*C* (г/л)	Разница отметки уровня реки (м)
				18 – 21.11.2011	27 – 28.12.2011	18 – 21.11.2011	27 – 28.12.2011		
II – 26	31	1004,78	963,78	225	310	986,92	986,64	+85	–0,28
II – 27	35	1005,62	970,62	205	310	986,92	986,64	+105	–0,28
II – 29	41	999,21	958,21	130	175	986,92	986,66	+45	–0,26
II – 29[a]	40	999,78	959,78	200	315	987,06	986,66	+115	–0,40
II – 30	45	998,08	953,08	180	310	987,06	986,66	+130	–0,40
II – 31	44	998,12	954,12	180	310	987,06	986,66	+130	–0,40
II – 31[a]	46	998,82	952,82	150	210	987,06	986,66	+60	–0,40
II – 32	48	999,12	951,12	210	310	986,94	986,66	+100	–0,28
II – 33	38	996,14	958,14	38	54	987,06	986,66	+16	–0,40

На основании результатов исследования можно сделать следующие выводы:

1. Кондуктометрический метод измерения гидрогеохимического режима в основании плотины показал достоверные результаты и является самым эффективным методом исследования.

2. Исследование гидрогеохимического режима в основании плотины позволило выявить явление конвективно-диффузионного отжатия подземных минерализованных вод в зависимости от уровня гидростатического давления воды в реке Вахш (повышения уровня воды) с течением времени.

Список литературы

1. Давлатшоев, С. К. Кондуктометрический способ и аппаратура измерения уровня минерализации в пьезометрических сетях / С. К. Давлатшоев, М. М. Сафаров // Вестник технологического университета. – Казань, 2017. – Т. 20, № 18. – С. 45 – 52.

2. Давлатшоев, С. К. Оценка взаимодействия фильтрационного потока на гидрогеохимический режим основания плотины кондуктометрическим методом / С. К. Давлатшоев // Вестник Таджикского национального университета. Сер. естественных наук. – Душанбе: Сино, 2017. – № 1/3. – С. 129 – 134.

3. Давлатшоев, С. К. Гидрогеохимический мониторинг в основании плотины Рогунской ГЭС / С. К. Давлатшоев, М. М. Сафаров. – 1-е изд. – Душанбе: Ирфон, 2017. – 236 с.

CONDOMTOMETRIC METHOD OF RESEARCH OF COMPRESSION OF UNDERGROUND MINERALIZED WATERS

S. K. Davlatshoev[1], M. M. Safarov[2]
[1]Tajik Technical University named after Akad. M. S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan
salomatda@list.ru
[2]Branch of Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Dushanbe, Tajikistan
mahmad1@list.ru

Abstract. The article examines the results of the study of the change in the hydrogeochemical regime at the base of the Rogun hydroelectric dam by the method of conductometric analysis, depending on changes in the water level in the Vakhsh River. The obtained results confirm the phenomena of convective-diffusion squeezing of underground mineralized waters by fresh filtration flows and the transfer of the salt component along the filtration path.

Keywords: hydrogeochemical regime, dam foundation, piezometric well filtration, conductometer, depressions, convection, diffusion, mineralization, hydrostatic pressure.

УДК 536.62

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОТВЕРЖДЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

О. С. Дмитриев, А. А. Барсуков
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов
oleg.s.dmitriev@mail.ru

Аннотация. Приведен метод определения кинетических характеристик процесса отверждения полимерных композитов на основе измерения мощности тепловыделений в двух различных температурно-временных режимах. Представлены экспериментальные графики мощности тепловыделений и кинетических характеристик процесса отверждения углепластика.

Ключевые слова: калориметрия, кинетические характеристики, полимерные композиты.

Полимерные композиты (ПК) на основе термореактивных связующих используются во многих областях промышленности, заменяя традиционные материалы. Главным условием качества изделий из ПК является оптимальный температурно-временной режим процесса отверждения. Определение оптимальных режимов отверждения требует применения математических моделей и идентификацию их параметров [1, 2].

Ключевыми параметрами математической модели процесса отверждения ПК являются кинетические характеристики, такие как энергия активации $E(\beta)$, кинетическая функция отверждения $\varphi(\beta)$ и полный тепловой эффект $Q_{\text{п}}$. Определение данных характеристик может проводиться различными методами, в зависимости от вида регистрируемой величины [3].

Химический метод исследования кинетики основан на экстракции непрореагировавших реакционноспособных групп ПК в аппарате Сокслета и пиролиза связующего из армирующего наполнителя. Физико-химические методы исследования кинетики процесса отверждения имеют большую точность и распространенность. К ним относится калориметрический метод, в котором рост температуры, вызванный внутренними тепловыделениями при отверждении, является источником информации о кинетике процесса отверждения. Поэтому кинетические характеристики, такие как энергия активации E и кинетическая функция φ возможно определить по мощности тепловыделений W.

Математическая модель кинетики процесса отверждения имеет вид:

$$\frac{d\beta}{dt} = \varphi(\beta)\exp\left(-\frac{E(\beta)}{RT(t)}\right), \quad \beta \equiv \beta(t), \quad 0 < \beta < 1, \quad 0 < t \le t_{к}.$$

Кинетическую функцию $\varphi(\beta)$ в зависимости от типа процесса отверждения моделируют следующими выражениями:

$$\varphi(\beta) = K(1-\beta)^m,$$
$$\varphi(\beta) = K\beta^n(1-\beta)^m,$$
$$\varphi(\beta) = K(1-\beta)\,(1+k_0\beta),$$

где m, n – порядки реакции; K – константа скорости химической реакции.

Приведенные выражения кинетических функций получены на основе исследования различных стадий процесса отверждения и являются аппроксимацией кинетики процесса. Поэтому в зависимости от типа реакции отверждения можно получить соответствующее кинетическое уравнение.

На рисунках 1 и 2 представлены мощность тепловыделений W, измеренная в температурном режиме $T(t)$ и кинетические характеристики E, φ процесса отверждения углепластика КМУ-7, вычисленные по мощности тепловыделений W.

Из графиков видно, что мощность тепловыделений W имеет экстремальный характер, который соответствует переходу связующего из жидкого состояния в гелеобразное и затем в отвержденное. При уменьшении скорости нагрева $T_2(t)$ экстремум тепловыделении W сдвигается в область более низких температур. При этом продолжительность тепловыделений и время гелеобразования со снижением скорости нагрева увеличивается. Площадь под кривой тепловыделений $W(t)$ характеризует полный тепловой эффект $Q_{п}$ реакции отверждения связующего, а отношение теплового эффекта Q к полному тепловому эффекту $Q_{п}$ соответствует калориметрической степени отверждения β. Для расчета кинетических характеристик $E(\beta)$ и $\varphi(\beta)$ достаточно двух температурно-временных зависимостей мощности тепловыделений $W_1(t)$, $W_2(t)$. Вычисленная на основе этих данных энергия активации $E(\beta)$ при отверждении углепластика КМУ-7 имеет слабую зависимость от степени отверждения и ее можно представить как константу E. Кинетическая функция $\varphi(\beta)$ в пределах изменения степени отверждения β от 0 до 1 изменяется на несколько порядков и, аппроксимировав ее по одной их вышеприведенных формул, возможно использовать для моделирования процесса и расчета режима отверждения ПК.

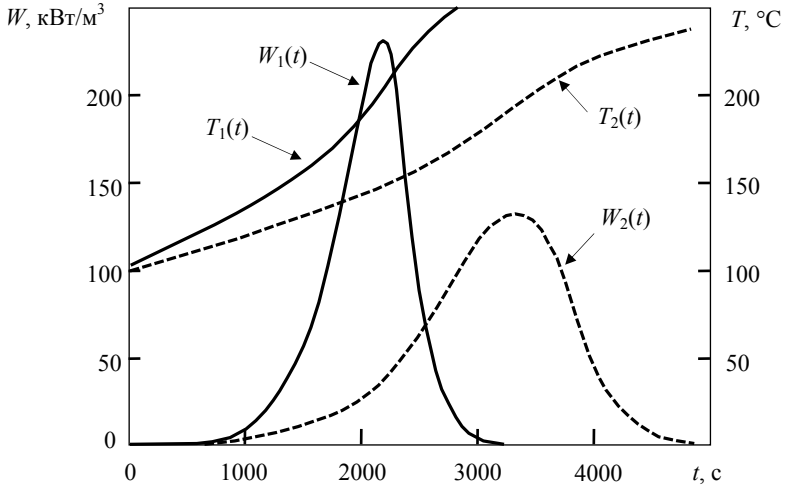


Рис. 1. Мощность тепловыделений при отверждении углепластика КМУ-7

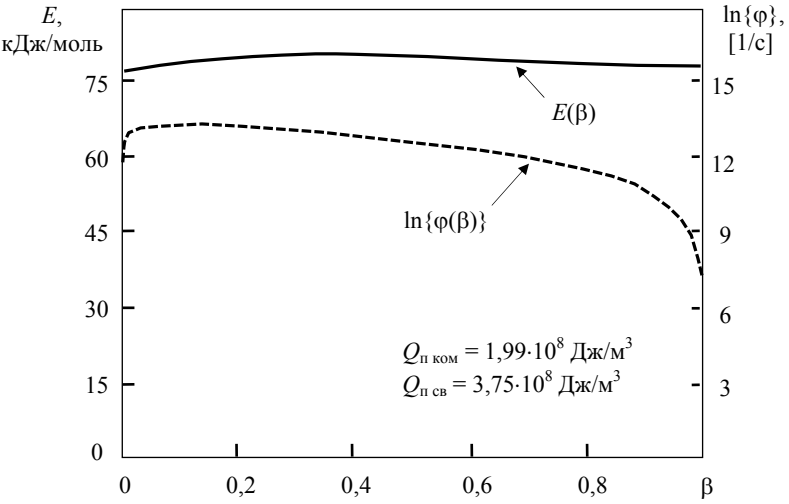


Рис. 2. Кинетические характеристики отверждения углепластика КМУ-7

Список литературы

1. Оптимизация режима отверждения изделий из полимерных композитов на основе клеевых препрегов / О. С. Дмитриев, В. Н. Кириллов, С. В. Мищенко, С. О. Дмитриев // Клеи. Герметики. Технологии. – 2009. – № 5. – С. 17 – 24.

2. Автоматизированная система исследования процесса отверждения композиционных полимерных материалов / С. В. Мищенко, О. С. Дмитриев, Н. П. Пучков, А. В. Шаповалов // Промышленная теплотехника. – 1989. – Т. 11, № 5. – С. 79 – 84.

3. Дмитриев, О. С. Метод исследования параметров течения связующего при отверждении композитов / О. С. Дмитриев, С. В. Мищенко, А. О. Дмитриев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2005. – Т. 11, № 1. – С. 53 – 61.

STUDY OF POLYMER COMPOSITES CURING KINETICS BY CALORIMETRIC METHOD

O. S. Dmitriev, A. A. Barsukov
Tambov State Technical University, *Tambov*
oleg.s.dmitriev@mail.ru

Abstract. In this work, the method for determining the kinetic characteristics of the polymer composites curing process based on measuring the power of heat release in two different temperature-time modes is offered. Experimental curves of the power of heat release and the kinetic characteristics of the carbon fiber reinforced polymer curing process are presented.

Keywords: calorimetry, kinetic characteristics, polymer composites.

УДК 536.22.16

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНО-ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ НАНОПОРОШКОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

М. А. Зарипова[1], Ю. Ф. Гортышов[2], Х. Х. Ойматова[3], Ш. Р. Сафаров[4], С. Г. Ризоев[5], З. К. Хусайнов[3], К. Махмадалии[3]

[1]Таджикский технический университет имени акад. М. С. Осими, Душанбе, Таджикистан
mohira.zaripova@list.ru
[2]КАИ-КНИТУ имени А. Н. Туполева, Казань
Juriy.gotyshov@ksu-kai.ru
[3]Таджикский государственный университет имени Н. Хусрава, Душанбе, Таджикистан
[4]Дангаринский государственный университет, Дангара, Таджикистан
shohin.safarov@mail.ru
[5]Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни, Душанбе, Таджикистан

Аннотация. Приводятся результаты экспериментального исследования температуры кипения, плотности, теплоемкости, энтальпии, энтропии, энергии Гельмгольца, энергии Гиббса и механизм их изменения при атмосферном давлении, комнатной температуре. На основе экспериментальных данных и закона термодинамического подобия нами получены эмпирические зависимости.

Ключевые слова: углеродно-целлюлозные нанопорошки, растворитель, плотность, теплоемкость, энтропия, энтальпия, энергия Гиббса и энергия Гельмгольца.

В материале тезиса доклада приводится технология получения углеродно-целлюлозных (ЦТАВ) нанопорошков (запатентованный) и способ их выделения из углеродосодержащей сажи. Целлюлоза – один из самых распространенных природных полисахаридов, главная составляющая часть и основной структурный материал клеточных стенок растений. Содержание целлюлозы в волокнах хлопковых семян составляет 95…99,5%, в лубяных волокнах (лен, джут, рами) 60…85%, в тканях древесины (в зависимости от породы дерева, его возраста, условий произрастания) 30…35%, в зеленых листьях, траве, низких растениях 10…25%. Один из чрезвычайно интересных возможностей получения геля – из порошковой целлюлозы. Данный показатель дает возможность расширить область использования водосодержащих

гелей на основе целлюлозы, например в химической, целлюлозно-бумажной, медицинской и пищевой промышленности.

Актуальность данной работы связана с развитием новых технологий, в которых используются вещества с заранее рассчитанными и исследованными свойствами. Исследование свойств должно базироваться на более точном определении и составлении уравнения состояния или эмпирических зависимостей. В частности получение композиционных материалов на его основе используется в сфере строительства и др., а также используется для стабилизации эмульсий, как основа для мазей, при изготовлении таблеток и капсул, бактерицидных жидкостей, пленкообразующих аэрозолей и т.д. Основные фракции составляют 250 мкм. Некоторые характеристики целлюлозы представлены в табл. 1.

Для измерения насыпной плотности и теплопроводности целлюлозы и углеродно-целлюлозных нанопорошков нами использован пикнометрический метод и метод регулярного теплового режима первого рода. Экспериментальная установка для измерения теплопроводности нанопорошков, в основном, состоит из цилиндрического бикалориметра, который в свою очередь состоит из двух коаксиально расположенных медных цилиндров. Зазор между цилиндрами, который составляет 4,5 мм, заполняется исследуемым нанопорошком. Для измерения насыпной плотности нами использован стеклянный пикнометр, объем которого равен 50 мл. Для взвешивания массы пустого и заполненного пикнометра использованы электронные весы. Для исследования теплоемкости растворов нами использована установка комплексного определения теплофизических свойств (УКОТС). Устройство в основном состоит из акалориметра, изготовленного из меди (наружный диаметр 100 мм, высота 180 мм), по центру которого высверлена полость диаметром 20 мм. Свободное пространство (полость) акалориметра заполняется исследуемой наножидкостью или раствором, затем по центру вставляется металлическая пробка и тонкостенная металлическая трубка.

Таблица 1

Влажность ,%	Зольность, %	Ph среды	Водорастворимая фракция, %	Содержание карбооксильных групп, %	Насыпная плотность, г/м^3	Пористость ,%
5,4	0,03	6,8…7,1	0,01	0,09	0,11	76

Конец основной хромель-алюмелевой термопары подсоединяется к гальванометру или USB к компьютеру. Общая относительная погрешность измерения плотности и теплопроводности при доверительной вероятности $\alpha = 0{,}95$ соответственно равны 0,1 и 3,0%.

PRODUCTION OF CARBON CELLULOSE NANO POWDERS AND INVESTIGATION OF THEIR THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS

Zaripova M. A.[1], Yu. F. Gortyshov[2], H. Kh. Oimatova[3], Sh. R. Safarov[4], S. G. Risoev[5], Z. K. Husainov[6], K. Mahmadalii[7]

[1]Tajik Technical University named after Akad. M. S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan
mohira.zaripova@list.ru
[2]KAI-KNITU named after A. N. Tupolev, Kazan
Juriy.gotyshov@ksu-kai.ru
[3]Tajik State University named after N. Hysrav, Dushanbe, Tajikistan
[4]Dangara State University, Dangara, Tajikistan
shohin.safarov@mail.ru
[5]Tajik Development Pedagogical University named after S. Aini, Dushanbe, Tajikistan

Abstract. The results of an experimental study of the boiling point, density, heat capacity, enthalpy, entropy, Helmholtz energy, Gibbs energy, and the mechanism of their change at atmospheric pressure at room temperature are presented. On the basis of experimental data and the law of thermodynamic similarity, we obtained empirical relationships.

Keywords: carbon-cellulosenanopowders, solvent, density, heat capacity, entropy, enthalpy, Gibbs energy, and Helmholtz energy.

УДК 536.32.46

КОЭФФИЦИЕНТ АДСОРБЦИИ И МАССООТДАЧИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СМЕСИ КРЕМНИЕВЫХ КИСЛОТ И МСУНТ

А. Г. Мирзомамадов[1], М. А. Абдуллоев[1], М. М. Холиков[2], А. Неъматов[1], К. Н. Розыков[1], Д. Ш. Хакимов[1], М. М. Гуломов[2], Д. А. Назирмадов[3], Дж. А. Зарипов[2], М. М. Сафаров[4]

[1]Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни, Душанбе, Таджикистан

[2]Таджикский технический университет имени акад. М. С. Осими, Душанбе, Таджикистан

[3]Институт энергетики Таджикистана, Бохтар, Таджикистан

[4]Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова, Душанбе, Таджикистан

mahmad1@list.ru

Аннотация. Приводятся результаты экспериментального исследования коэффициента адсорбции и массоотдачи механической смеси кремниевой кислот (H_2SiO_3) и многостенных углеродных нанотрубок (МСУНТ) в зависимости от температуры при различных концентрациях МСУНТ. Для измерения коэффициента адсорбции и массоотдачи нами использован метод и экспериментальная установка, разработанная профессором М. М. Сафаровым и его учениками. Концентрации МСУНТ в механических смесях соответственно менялась от 10 до 90% массы второго компонента. Для определения навесок использованы электронные весы. Класс точности электронных весов равен 0,001.

Общая относительная погрешность измерения коэффициента адсорбции и массоотдачи соответственно равны 3,0 и 2,8%.

Ключевые слова: наночастицы, кремниевые кислоты (H_2SiO_3), многостенные углеродные нанотрубки (МСУНТ), Монте-Карло, коэффициент адсорбции, коэффициент массоотдачи, теплопроводность, эмпирические уравнения.

В нанохимии взаимодействие наноструктур с окружающей средой имеет свою специфику и особую роль. В исследовании фундаментальных свойств наночастиц необходимо тщательно изучать качественное изменение свойств частицы в зависимости от ее размера и компонентов окружающей среды. Внутренний размерный эффект может возникать при изменении структуры частицы и увеличении локализации электронов под влиянием поверхности. В наночастицах

значительное число атомов находится на поверхности, соответственно возрастает и вклад поверхностных атомов в общую энергию системы, что, без сомнения, приводит к изменению физических и химических свойств структур. С другой стороны, наночастицы хорошо адсорбируют многие газы. Поэтому они широко используются как чувствительные газовые сенсоры. Многие однослойные нанотрубки поглощают молекулы различных газов и при этом изменяются в первую очередь их электрическое сопротивление и электродвижущая сила. Газовые сенсоры отличаются, также, небольшим временем отклика и высокой чувствительностью. По сравнению с обычными твердотельными сенсорами чувствительность нанодатчиков возрастает на несколько порядков. Например, наличие в наночастице 0,02% УНТ увеличивает количество дырок и электропроводность на три порядка. Кроме того, сенсорные материалы на основе нанотрубок миниатюрны, относительно недороги и могут применяться при комнатной температуре.

Указанные выше свойства нанотрубок делают возможными их применение в военной промышленности, космонавтике, подводных лодках, медицине, биологии, современных нанотехнологиях, наноэлектронике. Поэтому определение оптимальных размеров углеродных нанотрубок различной модели, исследование процессов адсорбции газов на их поверхности имеет важное теоретическое и прикладное значение [1].

Адсорбция воды в углеродных адсорбентах отличается от адсорбции неполярных газов, которая рассматривалась ранее. Изотермы адсорбции воды в углеродных адсорбентах, полученные методом Монте-Карло в большом каноническом ансамбле, относятся к типу V по номенклатуре IUPAC. Изотермы такого типа свидетельствуют о том, что заполнение поры происходит в результате капиллярной конденсации. Дальнейшее увеличение давления не оказывает существенного влияния на адсорбционную емкость. Изотерма, которую получают при десорбции воды из углеродных адсорбентов, как правило, на некотором участке давлений в области скачка капиллярной конденсации не совпадает с изотермой адсорбции. Такое расхождение изотерм адсорбции и десорбции, визуально выражающееся в появлении между ними замкнутой области в районе скачка капиллярной конденсации, называют петлей гистерезиса [2].

Экспериментальные значения коэффициента адсорбции и массоотдачи углеродной нанотрубки + массового процента H_2SiO_3 приведены на рис. 1, 2.

Высокие сорбционные свойства углеродных наночастиц обусловлены наличием графитовой поверхности, являющейся хорошим сорбентом с большим значением удельной поверхности. Следствием высокой теплопроводности УНТ (~3000 Вт/(м·К)) является усиление эксплуатационных характеристик теплоносителей при введении в них незначительных количеств углеродных нанотрубок. Поэтому в литературе широко исследуются теплоносители с внедренными в них УНТ, что обуславливает актуальность исследования взаимодействий теплоносителей (в частности этиленгликоля) с углеродными наночастицами. Это может быть положено в основу разделения хлорида калия и химических соединений, обладающих высоким сродством к углеродным нанотрубкам, например, этиленгликоля и хлорида калия [3].

Как видно из рис. 1, коэффициент массоотдачи углеродной нанотрубки + H_2SiO_3 с ростом времени выдержки, в среде воздух–пары воды, уменьшается. На рисунке 2 представлена зависимость коэффициента адсорбции углеродной нанотрубки + массового процента H_2SiO_3 от времени выдержки в среде воздух–пары воды. Как видно из рисунка с ростом времени выдержки коэффициент адсорбции углеродной нанотрубки + массового процента H_2SiO_3 сначала увеличивается линейно, а затем идет линия насыщения.

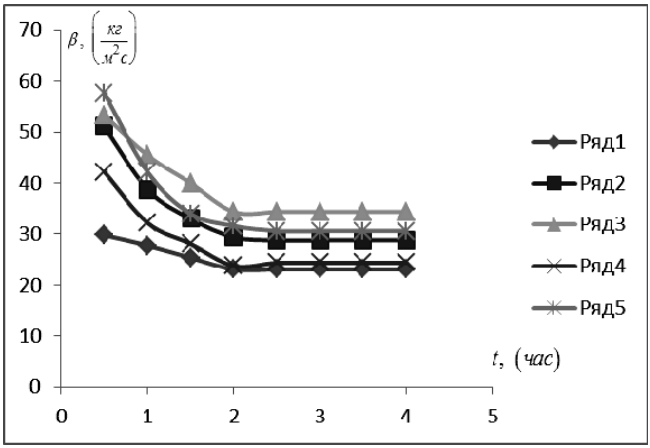


Рис. 1. Зависимости коэффициента массоотдачи от времени выдержки в среде воздух пары воды:
ряд 1 – 90% H_2SiO_3 + 10% МСУНТ; ряд 2 – 70% H_2SiO_3 + 30%МСУНТ; ряд 3 – 50% H_2SiO_3 + 50%МСУНТ; ряд 4 – 30% H_2SiO_3 + 70% МСУНТ; ряд 5 – 10% H_2SiO_3 + 90% МСУНТ

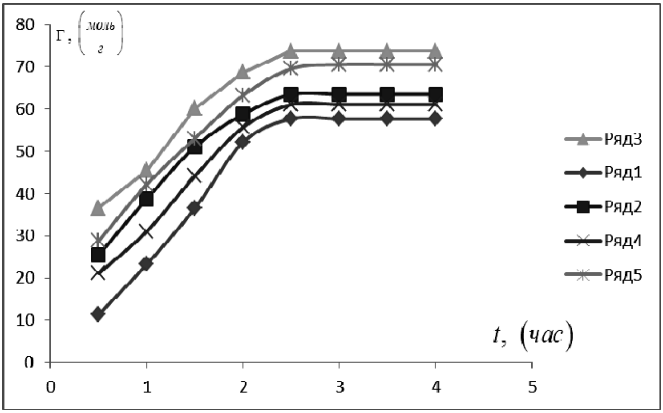


Рис. 2. Зависимости коэффициент адсорбции от времени выдержки в среде воздух пар воды:
ряд 1 – 90% H_2SiO_3 + 10%МСУНТ; ряд 2 – 70% H_2SiO_3 + 30% МСУНТ; ряд 3 – 50% H_2SiO_3 + 50%МСУНТ; ряд 4 – 30% H_2SiO_3 + 70% МСУНТ; ряд 5 – 10% H_2SiO_3 + 90% МСУНТ

Список литературы

1. Гасеми, А. Адсорбционные свойства однослойных углеродистых нанотрубок типа «CHAIR» (4.4.) и «ZIGZAG» (5.0.): дис. … канд. хим. наук / А. Гасеми. – Душанбе, 2011. – 126 с.

2. Сизова, А. А. Компьютерное моделирование адсорбции и диффузии флюидов в углеродных и силикатных пористых материалах: дис. … канд. хим. наук / А. А. Сизова. – СПб., 2015. – 174 с.

3. Углеродные нанотрубки как сорбенты для разделения этиленгликоля и хлорида калия / Белякова и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 526 – 532.

THE COEFFICIENT OF ADSORPTION AND MASS TRANSFER OF A MECHANICAL MIXTURE OF SILICIC ACIDS AND MCWNT

A. G. Mirzomamadov[1], M. A. Abdulloev[1], M. M. Kholikov[2], A. Nematov[1], K. N. Rozykov[1], D. Sh. Hakimov[1], M. M. Gulomov[2], D. A. Nazirmadov[3], J. A. Zaripov[2], M. M. Safarov[4]

[1]Tajik Development Pedagogical University named after S. Aini, Dushanbe, Tajikistan

[2]Tajik Technical University named after Akad. M. S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan

[3]Institute of Energy of Tajikistan, Bokhtar, Tajikistan

[4]Branch of Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Dushanbe, Tajikistan

mahmad1@list.ru

Abstract. The paper presents the results of an experimental study of the coefficient of adsorption and mass transfer of a mechanical mixture of silicic acids (H2SiO3) and multiwalled carbon nanotubes (MCWNT) as a function of temperature at various concentrations of MCWNT. To measure the adsorption coefficient and mass transfer, we used the method and experimental setup developed by Professor M. Safarov. and his disciples. Concentrations of MWCNT in mechanical mixtures, respectively, varied from 10 to 90% of the mass of the second component. Electronic weighers are used to determine samples. The accuracy class of electronic weights is 0.001.

The total relative error in measuring the adsorption coefficient and mass transfer are 3.0 and 2.8%, respectively.

Keywords: nanoparticles, silicic acid (H_2SiO_3), multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs), Monte Carlo, adsorption coefficient, mass transfer coefficient, thermal conductivity, empirical equations.

УДК 536.34.12

ВЛИЯНИЕ NaCl НА ИЗМЕНЕНИЕ ВЯЗКОСТИ И ПЛОТНОСТИ ВОДЫ

Д. А. Назирмадов[1], М. М. Сафаров[2], С. С. Абдуназаров[1], А. Г. Мирзомамадов[3], А. Неъматов[3], М. А. Абдуллоев[3]

[1]Институт энергетики Таджикистана, Бохтар, Таджикистан

[2]Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова, Душанбе, Таджикистан

mahmad1@list.ru

[3]Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни, Душанбе, Таджикистан

Аннотация. Приводится модель ньютоновских жидкостей или наножидкостей при различных температурах, давлениях и концентрациях наночастиц. При течении жидкостей (наножидкость или ньютоновская) теоретическим и численным методами определены критерии Рейнолдьса. Показан раздел между дисперсными фазами (жидкость–наночастицы) на примере (вода–NaCl). Для исследования вязкости и плотности ионных жидкостей использован метод вискозиметрического и гидростатического взвешивания. Общая относительная погрешность измерения вязкости и плотности при $\alpha = 0{,}95$ соответственно равны 2,5 и 0,1%.

Ключевые слова: динамическая и кинематическая вязкость, плотность, вискозиметр, метод гидростатического взвешивания, ионий, жидкость, вода, соль.

Гидромеханические процессы протекают в подвижных средах. К ним относятся: транспортировка газов и жидкостей в различных каналах, движение газов и жидкостей в аппаратах и другом оборудовании технологических установок, разделение жидких и газовых неоднородных систем, а также получение неоднородных систем. Молекулярный и конвективный перенос в значительной степени определяют эффективность тепло-, массообменных процессов. В связи с этим теоретический и численный расчет любого гидромеханического, тепло-, массообменного процесса начинается с решения системы уравнений движения среды и расчета кинетических характеристик переноса для определения внутри аппарата или другого устройства полей скорости и давлений. Решение таких задач на порядок усложняется при моделировании кинетических характеристик переноса в двухфазных средах.

Структура двухфазных потоков весьма разнообразна и зависит от размеров и распределения элементов дисперсной фазы и скорости относительно движения фаз. Возможны следующие виды движения:

раздельное движение двух фаз, имеющих общую границу раздела; движение смеси с распределением дисперсной фазы, близким к равномерному, и движение с неравномерным движением фаз. Описание закономерностей движения двухфазных систем осложняется неоднородностью их состава, различием скоростей движения и фазовыми переходами [1].

При малой скорости движения небольших частиц в неподвижной среде на поверхности тела образуется ламинарный пограничный слой, и тело плавно обтекается потоком. Потоки энергии в этом случае связаны в основном с преодолением сил трения. С увеличением скорости движения частицы все большую роль начинают играть силы инерции. Под действием этих сил пограничный слой в кормовой части дисперсного элемента отрывается от поверхности, что приводит к образованию местных завихрений [1]. Начиная с некоторых значений критерия Рейнольдса, роль лобового сопротивления становится преобладающей и сопротивление трения можно практически не учитывать [1].

Для плоскообтекаемых тел (сфера, цилиндр и др.) даже относительно небольшое увеличение значения Re приводит к отрыву потока. Так, для твердой сферы уже при Re = 20 наблюдается отрыв пограничного слоя с образованием возрастно-выхревых течений в кормовой части [2 – 4].

Идеальный случай свободного осаждения может иметь место в бесконечно большом объеме жидкости при движении в нем одной частицы. Можно считать, что закономерности свободного осаждения соблюдаются с достаточной степенью точности, если объемная концентрация осаждающейся частицы не превышает 0,5…1,0% [1].

Вязкость (внутреннее трение) – одно из явлений переноса, свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. Вязкость жидкостей делятся на две группы: динамическая вязкость и кинематическая вязкость.

В данной статье приведены результаты исследования динамической и кинематической вязкости растворов системы (H_2O + NaCl) при разных концентрациях NaCl на 40 мл воды при атмосферном давлении.

Динамическая вязкость растворов системы (H_2O + NaCl) относительно дистиллированной воды определяется по формуле [5]:

$$\eta = \eta_0 \rho_1 t_1 / \rho_0 t_0, \text{ Па·с}, \quad (1)$$

где η – вязкость системы H_2O + NaCl, Па·с; η_0 – вязкость дистиллированной воды Па·с; (для дистиллированной воды η_0 = 0,001 Па·с),

ρ_1, ρ_0 – плотности системы растворов и очищенной воды; (для очищенной воды $\rho_0 = 1000$ кг/м^3), t_1, t_0 – время вытекания объема системы (H_2O + NaCl) и очищенной воды из вискозиметра; (для дистиллированной воды $t_0 = 0{,}834$ с). Результаты определения концентрационной зависимости динамической и кинематической вязкости растворов приведены в табл. 1 и 2.

Кинематическая вязкость растворов системы H_2O + NaCl определяется на основе динамической вязкости и их плотности. Для определения кинематической вязкости (м/с^2) применяется следующая формула [5]:

$$\upsilon = \eta / \rho, \text{ м/с}^2. \quad (2)$$

Установлено, что при увеличении концентрации соли (NaCl) в дистиллированной воде динамическая, кинематическая вязкости и их плотности возрастают.

1. Концентрационные зависимости динамической вязкости водных растворов соли

№	Концентрации растворов, %	ρ_1, кг/м^3	t_1, с	$\eta \cdot 10^{-3}$, Па·с
1	99,5%H_2O + 0,5%NaCl	1011	1,843	2,2
2	99,0%H_2O + 1,0%NaCl	1015	1,992	2,4
3	98,5%H_2O + 1,5%NaCl	1020	1,998	2,5
4	98,0 %H_2O + 2,0%NaCl	1023	2,032	2,6
5	97,5%H_2O + 2,5%NaCl	1026	2,134	2,62

2. Концентрационные зависимости кинематической вязкости водных растворов соли

№	Концентрации растворов, %	$\eta \cdot 10^{-3}$, Па·с	ρ, кг/м^3	$\upsilon \cdot 10^{-7}$, м/с^2
1	99,5%H_2O + 0,5%NaCl	2,2	1011	21,7
2	99,0%H_2O + 1,0%NaCl	2,4	1015	23,6
3	98,5%H_2O + 1,5%NaCl	2,5	1020	24,5
4	98,0%H_2O + 2,0 %NaCl	2,6	1023	25,4
5	97,5%H_2O + 2,5%NaCl	2,62	1026	25,5

Список литературы

1. Лаптев, А. Г. Модели эффективности процессов межфазного переноса. Ч. 1. Гидромеханические процессы: монография / А. Г. Лаптев, М. М. Башаров, Е. А. Лаптева, Т. М. Фарахов; под. ред. А. Г. Лаптева. – Казань: Центр инновационных технологий, 2017. – 392 с.
2. Броунштейн, Б. И. Гидродинамика, массо- и теплообмен в дисперсных системах / Б. И. Броунштейн, Г. А. Фищбейн. – Л.: Химия, 1977. – 280 с.
3. Кутепов, А. М. Химическая гидродинамика / А. М. Кутепов, А. Д. Полянин. – М.: Бюро Квантум, 1996. – 336 с.
4. Newitt, G. F. Multiphase scienceandtechnology / G. F. Newitt. – Washington – N. J. London: Hemisphere Publishing Corporation, 1987. – 234 p.
5. Сафаров, М. М. Теплофизические свойства простых эфиров и водных растворов гидразина в зависимости от температуры и давления: дис. … д-ра техн. наук / М. М. Сафаров. – Душанбе, 1993.

INFLUENCE NACL TO EXCHANGE VISCOSITY AND DENSITY WATER

D. A. Nazirmadov[1], M. M. Safarov[2], S. S. Abdunazarov[1], A. G. Mirzomamadov[3], A. Nematov[3], M. A. Abdulloev[3]

[1]Institute of Energy of Tajikistan, Bokhtar, Tajikistan

[2]Branch of Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Dushanbe, Tajikistan

mahmad1@list.ru

[3]Tajik Development Pedagogical University named after S. Aini, Dushanbe, Tajikistan

Abstract. The paper presents a model of Newtonian liquids or nanofluids at various temperatures, pressures and concentrations of nanoparticles. In the flow of liquids (nanofluid or Newtonian) the Reynolds criteria are determined theoretically and numerically. The section between dispersed phases (liquid-nanoparticles) is shown on the example (water-NaCl). To study the viscosity and density of ionic liquids, the method of viscozimetric and hydrostatic weighing was used. The general relative error in measuring viscosity and density at $\alpha = 0.95$, respectively, is 2.5% and 0.1%.

Keywords: dynamic and kinematic viscosity, density, viscometer, hydrostatic weighing method, ionium liquid, water, salt.

УДК 536.12.36

ВЛИЯНИЕ ФУЛЛЕРЕНОВ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КИПЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ

М. М. Сафаров[1], С. Х. Мирзоев[1], Н. Б. Давлатов[2], М. А. Абдуллоев[3], М. М. Гуломов[2], М. А. Зарипова[2]

[1]Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова, Душанбе, Таджикистан
mahmad1@list.ru
[2]Таджикский технический университет имени акад. М. С. Осими, Душанбе, Таджикистан
mohira.zaripova@list.ru
[3]Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни, Душанбе, Таджикистан

Аннотация. Приводятся результаты экспериментального исследования температуры кипения, температуры плавления, плотности и механизма изменения теплофизических свойств фуллеренсодержащих, углеродосодержащих растворов (гидразин-феллеренов C_{60}, C_{70}, C_{84} и диэтиловый эфир-феллеренов C_{60}, C_{70}, C_{84}) при атмосферном давлении и комнатной температуре. На основе экспериментальных данных и закона термодинамического подобия нами получена эмпирическая зависимость.

Ключевые слова: фуллерен, растворитель, гидразин, температуры кипения, плотность, теплоемкость.

Определены концентрационные зависимости температуры кипения $T_{кип}$ и скорости испарения растворов фуллеренов (C_{60}, C_{70} и C_{84}) в гидразине, простых эфиров. Во всех случаях концентрационные изменения теплофизических свойств (теплопроводность, плотность, теплоемкость и др.) фуллеренсодержащих растворов оказалось единообразными. В настоящем сообщении исследованы концентрационные зависимости: скорость испарения, температуры кипения и плавления растворов фуллеренов в гидразине (N_2H_4) гидразингидрат. В работе использовали фуллерены (C_{60}, C_{70} и C_{84}) с химической чистотой 99,68%, растворители гидразин и диэтиловый эфир марки «ХЧ». Диэтиловый эфир был очищен трехкратной перегонкой. При исследовании вышеперечисленных свойств концентрации фуллеренов меняли в переделах $C = 10^{-3} – 0{,}15$ масс.%. Методики приготовления образцов, определение температуры кипения и обработка экспериментальных данных заимствована из работы [1, 2]. Опыты проводились при атмо-

сферном давлении и комнатной температуре. В работах [1, 2] на примере растворов фуллеренов C_{60} и C_{70} в бензоле, толуоле и параксилоле было показано, что в указанных растворителях сосуществуют две различные структуры (фазы): более упорядоченная (I) и менее упорядоченная (II). При введении малых количеств фуллеренов (C_{60}, C_{70} и C_{84}) в растворителе происходит фазовый переход структуры (II) в структуру (I), что объясняет выделение тепла [1]. Однако формирование структуры (I) сопряжено с образованием значительного свободного объема и, соответственно, падением плотности раствора в целом [1, 2]. Как только фазовый переход заканчивается, снижение плотности прекращается, и дальнейшее увеличение концентрации наночастиц приводит к росту плотности раствора [2]. Изменение плотности соответственно приводит к изменению теплопроводности и теплоемкости растворов [1]. Во всех случаях концентрационные зависимости $T_{кип}$ могут быть разделены на две области: 1) резкое возрастание $T_{кип}$ при самых малых концентрациях наночастиц (фуллерена, ОУНТ, МУНТ); 2) более медленное возрастание или неизменности $T_{кип}$. Область 1) связывали со структурированием растворителей под действием наночастиц, в том числе фуллеренов, т.е. с образованием дополнительной доли структуры (I) [1, 2].

Оценка параметра кооперативности по данным $T_{пл}(C)$ дает несколько большее значение, чем по данным $T_{кип}(C)$. Это можно объяснить тем, что при повышении температуры ассоциаты постепенно разрушаются и могут полностью разрушиться при приближении к температуре кипения [3]. Отметим, что определение числа молекул в ассоциате растворенного вещества с молекулами растворителя является распространенным экспериментальным данными работы [3], однако до сих пор число молекул в ассоциате не превышало несколько единиц, тогда как в рассматриваемых нами случаях число молекул растворителя в ассоциате молекулой фуллерина и одностенные углеродные нанотрубки достигают сотни [1 – 3].

Список литературы

1. Мекалова, Н. В. Фуллерены в растворах / Н. В. Мекалова. – Уфа: Уфимский гос. нефтяной технический университет, 2001. – 107 с.

2. Исследование влияния фуллерена C_{60} на теплофизические свойства ортоксилола и хлорбензола / Ф. Содиков, С. Х. Табаров, Ш. Туйчиев и др. // ДАН РТ. – 2016. – Т. 59, № 5-6. – С. 218 – 221.

3. Полинг, Л. Общая химия / Л. Полинг; пер. с англ.; под ред. М. Х. Карапетяньца. – Изд. 2. – М.: Мир, 1974. – 408 с.

INFLUENCE OF FULLERENES AND CARBON NANOTUBES ON THE CHANGE IN THE BOILING POINT OF HYDROCARBONS

M. M. Safarov[1], S. H. Mirzoev[1], N. B. Davlatov[2], M. A. Abdulloev[3], M. M. Gulomov[2], M. A. Zaripova[2]

[1]Branch of Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Dushanbe, Tajikistan
mahmad1@list.ru
[2]Tajik Technical University named after Akad. M. S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan
mohira.zaripova@list.ru
[3]Tajik Development Pedagogical University named after S. Aini, Dushanbe, Tajikistan

Abstract. The results of an experimental study of the boiling point, the melting point, the density, and the mechanism of the change in the thermophysical properties of fullerene-containing, carbon-containing solutions (hydrazine-felleren C_{60}, C_{70}, C_{84}) and (diethyl ether-fellerin C_{60}, C_{70}, C_{84}) at atmospheric pressure and room temperature. On the basis of experimental data and the law of thermodynamic similarity, we obtained empirical relationships.

Keywords: fullerene, solvent, gidrazine, boiling point, density, heat capacity.

УДК 536.12.36

ВЛИЯНИЕ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК (OCSIAL) НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ БИНАРНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ РАСТВОРОВ

М. М. Сафаров[1], Б. А. Тымеркаев[2], Д. Ш. Хакимов[3], А. Р. Раджабов[3], М. М. Гуломов[4], С. С. Рафиев[3], Д. Ш. Раджабова[4]

[1]Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова, Душанбе, Таджикистан
mahmad1@list.ru
[2]КАИ-КНИТУ имени А. Н. Туполева, Казань
[3]Институт энергетики Таджикистана, Бохтар, Таджикистан
[4]Таджикский технический университет имени акад. М. С. Осими, Душанбе, Таджикистан

Аннотация. Приводятся результаты экспериментального исследования теплопроводности, плотности, теплоемкости, энтальпии, энтропии, энергии Гельмгольца, энергии Гиббса при различных давлениях, температурах. На основе экспериментальных данных и закона термодинамического подобия нами получены эмпирические зависимости и УС.

Ключевые слова: одностенные и многостенные углеродные нанотрубки OCSiAl , растворитель, бензол, плотности, теплопроводность, термодинамические, механические свойства.

Элементы энергетического, электронного, космического и другого оборудования в условиях конвективного теплообмена с окружающей средой в ряде физических процессов, когда распространение температуры приводит к горению или взрыву, требует значительных усилий. Эти явления имеют место в формировании теплового пограничного слоя в условиях стационарного обтекания поверхностей, при нагреве, при химических реакциях и так далее. С другой стороны, в большинстве энергетических установок (ДВС, ракетные двигатели, различные камеры сжигания) технологические процессы основаны на горении твердого или газообразного топлива, сопряжены со сложными гидродинамическими или газодинамическими течениями. Как правило, это сложные и многоэтапные физико-химические процессы. При этом важно знать теплофизические и термодинамические характеристики продуктов сгорания. Для математического и численного моделирования очень важной является проблема проверки правильности

построения компьютерных моделей, которая может быть решена введением некоторых пробных математических параметров, таких как одностенные углеродные нанотрубки OCSiAl (O-кислород, C-углерод, Si-кремний, Al-алюминий). Данные ОУНТ выпускаются под брендом TUBALL и используются в качестве универсального аддитива для большинства известных материалов. Ключевое преимущество одностенных углеродных нанотрубок, по сравнению с другими добавками, связано с тем, что всего 0,01 % SWCNT радикально меняет их удельные свойства, в том числе теплофизические, термодинамические и механические. Столь низкая концентрация позволяет сохранять оригинальный цвет материала и снижать негативное воздействие на его механические и реологические характеристики. Для уточнения изменения физико-химических свойств, теплопроводности бинарных растворов системы бензола и диизопропилового эфира при различных температурах и давлениях, нами разработана и запатентована экспериментальная установка, работающая методом нагретой нити. Бензол и диизопропиловый эфир являются хорошим растворителем масел, ткани, целлюлозы, каучука, резины, полистирола и др. Для определения технологических характеристик, в том числе адгезии, теплопроводности, плотности, скорости испарения и др. вышеперечисленных бинарных жидкостей и влияния одностенных и многостенных углеродных нанотрубок на основе OCSiAl на изменение этих свойств, мы создали условия проведения опыта и технологическую цепочку. Для измерения теплопроводности бинарных и тернарных растворов нами была использована модернизированная экспериментальная установка (метод нагретой нити).

Цель данной работы заключается в разработке и измерении теплопроводности наножидкостей при различных температурах и давлениях. Технический результат достигается путем дополнительного оснащения конструкции прототипа емкостью с исследуемым объектом, пережимным сосудом высокого давления, размешенным в нем полиэтиленовым мешочком и грузопоршневым манометром.

Устройство состоит из емкости, выполненной из нержавеющей стали, содержащей исследуемый объект – наножидкость и другие. Устройство работает следующим образом. Предварительно емкость заполняют исследуемым объектом, а внешний сосуд измерительной трубки – термостатирующей средой. Затем при комнатной температуре и атмосферном давлении в электрическую цепь подают постоянный электрический ток и полученные значения вольтметра и амперметра подставляют в расчетную формулу.

EFFECT OF SINGLE-WALLED CARBON NANOTUBES (OCSIAL) ON THE CHANGE IN THE THERMAL CONDUCTIVITY OF BINARY HYDROCARBON SOLUTIONS

M. M. Safarov[1], B. A. Tymerkayev[2], D. Sh. Hakimov[3], A. R. Radjabov[3], M. M. Gulomov[4], S. S. Rafiev[3], D. Sh. Radjabova[4]

[1]Branch of Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Dushanbe, Tajikistan

mahmad1@list.ru

[2]KAI-KNITU named after A. N. Tupolev, Kazan

[3]Institute of Energy of Tajikistan, Bokhtar, Tajikistan

[4]Tajik Technical University named after Akad. M. S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan

Abstract. The paper presents the results of an experimental study of the thermal conductivity, density, heat capacity, enthalpy, entropy, Helmholtz energy, Gibbs energy at various pressures, temperatures. On the basis of experimental data and the law of thermodynamic similarity, we obtained empirical dependences and CSS.

Keywords: single-walled carbon nanotubes OCSiAl, solvent, density, thermal conductivity, thermodynamic, mechanical properties.

УДК 536.12.08

ТЕПЛОЕМКОСТЬ ГРАНУЛИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ

М. М. Сафаров[1], А. А. Хубатхузин[2], Б. Г. Файзов[3], Т. Р. Тиллоева[4], К. Б. Саидзода[3]

[1]Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова, Душанбе, Таджикистан
mahmad1@list.ru
[2]КАИ-КНИТУ имени А. Н. Туполева, Казань
[3]Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни, Душанбе, Таджикистан
[4]ФМЭИ, Душанбе, Таджикистан

Аннотация. Приводятся результаты экспериментального исследования плотности, теплоемкости гранулированных композиционных материалов на основе полимеров при различных температурах. На основе экспериментальных данных и закона термодинамического подобия нами получены эмпирические зависимости.

Ключевые слова: гранулированные композиционные материалы на основе полимеров, растворитель, бензол, плотность, теплоемкость, влажность, температура, метод монотонного разогрева.

Исследование термодинамических свойств (насыпная плотность и теплоемкость) веществ, в том числе гранулированных материалов при различных температурах дает возможность объяснить ряд физико-химических и тепловых явлений, связанных с молекулярным переносом, а также развитие и совершенствование современной теории твердых тел (сыпучих материалов).

Экспериментальные исследования теплоемкости и насыпной плотности, помимо практической ценности, имеют исключительно важное научное значение. К числу основных физико-химических величин, характеризующих свойства твердых тел, тесно связанных со многими другими физическими и химическими величинами и входящих в качестве основных параметров в уравнение гидродинамики, теплообмена и теплопередачи при расчетах и проектировании процессов и аппаратов, относится теплоемкость.

Теплоемкость – это способность накапливать тепловую энергию в материале при его нагревании. Численно удельная *теплоемкость*

равна энергии, которую нужно ввести в единицу объема *материала*, чтобы нагреть его на один градус [1]. Расчетные теплотехнические показатели полимерных строительных *материалов* и изделий – *теплоемкость*, теплопроводность и теплоусвоение, в зависимости от плотности и влажности, паропроницаемость. В настоящем исследовании приводятся результаты экспериментального исследования удельной изобарной теплоемкости гранулированных полимерных материалов в зависимости от температуры при атмосферном давлении. Размер фракции гранул составляет (1,3…2,6) мм. Гранулы из полимерных материалов изготовлены простой технологией. Из композиционного материала, который имеет форму пластины длиной 4 см, шириной 15 мм и толщиной 10 мм был изготовлен цилиндр, имеющий следующие размеры: диаметр 15 мм и высота 10 мм. Для получения гранул цилиндр вставляется в металлическую капсулу. Верхняя часть капсулы имеет сквозное отверстие, диаметр которого равен (0,5…1,0) мм. Внутри капсулы вставляется изготовленный цилиндр из композиционных материалов и нагревается до 150 °С. Для того, чтобы гранулы не разлетелись по разным сторонам, данную систему закрывают колпаком, после чего система с полученными гранулами охлаждается до комнатной температуры, после чего вынимается. Полученные гранулы этим способом имеют сферическую и неопределенную формы. Диаметр гранул измеряли микрометром. Для измерения теплоемкости гранулированных композиционных полимерных материалов нами использована экспериментальная установка ($ИТС_р$-400), работающая методом монотонного разогрева, разработанная профессором Е. С. Платуновым и его учениками (Актюбинский завод). Диапазон измерения температуры на данной установке ($ИТС_р$-400) составляет от температуры жидкого азота до 673 К. Шаг измерения теплоемкости составляет 25 °С, а для автоматизированной установки этот шаг составляет от 1 и более градусов. Шаг температуры выбирается исходя из условий проведения опыта и структуры исследуемых объектов. Кроме того, данная установка была автоматизирована доцентом С. О. Набиевым и его учениками (ТТУ имени академика М. С. Осими). Общая погрешность измерения теплоемкости при доверительной вероятности $\alpha = 0{,}95$ составляет (без автоматизации 7…10%, а для автоматизированной установки 3,5%). Экспериментальная установка для измерения удельной изобарной теплоемкости, в основном, состоит из блока питания, измерительной части и зеркального гальванометра или компьютера с программным обеспечением. Исследования тепло-

физических свойств материалов при низких и криогенных температурах часто нуждаются в использовании специальных тепловых ячеек. Для того, чтобы провести измерение теплоемкости при низких температурах используется ячейка для низких и криогенных температур с управляемым режимом нагрева и охлаждения. В состав данной ячейки входят: массивное металлическое основание с электрическим нагревателем и системой трубок, охранный металлический колпак с теплозащитной оболочкой, градиентный тепломер и др. [1, 2]. Для обеспечения температурных и тепловых измерений в ячейке используются три хромель-копелевые термопары [1, 2]. Их «холодные» спаи размещаются в пассивном термостате с комнатной температурой. В ячейке с помощью нагревателей и системы охлаждения образца обеспечивается практически линейное температурное поле в образце [1, 2]. В работе также рассмотрены отличительные черты ячейки, предназначенной для исследования тонкодисперсных материалов порошковой и волокнистой структуры в области умеренных температур и давлений [1, 2]. Для доказательства в правильности работы установка была тестирована с использованием контрольных образцов. Так как данная установка позволяет провести измерение теплоемкости твердых тел, пластин и композиционных материалов, в частности прозрачных материалов, в качестве контрольных образцов использованы медь, алюминий, органическое и кварцевое стекло. Для измерения сыпучих материалов, растворов установка была снабжена нами ячейкой, изготовленной из медной фольги. Наружный диаметр фольги равен внутреннему диаметру измерительной ячейки. Для достоверности полученных результатов установка также была протестирована порошком оксида алюминия и гранулированным Al_2O_3, имеющим неопределенную форму [1, 2]. Надо отметить, что теплоемкость контрольных образцов была измерена неоднократно, и в разные времена и различными установками с применением разных методов измерения. Данные, полученные при тестировании установки, в переделе погрешности опыта, совпадают с литературными данными.

Список литературы

1. Теплофизические измерения: учебное пособие / Е. С. Платунов, И. В. Баранов, С. Е. Буравой, В. В. Курепин. – СПб., 2010. – 738 с.

2. Платунов, Е. С. Теория, методы и приборы ТФИ в режиме монотонного изменения температур: автреф. … д-ра техн. наук / Е. С. Платунов. – Л.: ИТМО, 1969. – 37 с.

THE HEAT CAPACITY OF GRANULAR COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYMERS

M. M. Safarov[1], A. A. Khubatkhuzin[2], B. G. Fayzov[3], T. R. Tilloeva[4], K. B. Saidzoda[3]

[1]Branch of Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Dushanbe, Tajikistan
mahmad1@list.ru
[2]KAI-KNITU named after A. N. Tupolev, Kazan
[3]Tajik Development Pedagogical University named after S. Aini
[4]BMEI, Dushanbe, Tajikistan

Abstract. The paper presents the results of an experimental study of the density, heat capacity of granular composite materials based on polymers at various temperatures. On the basis of experimental data and the law of thermodynamic similarity, we obtained empirical relationships.

Keywords: granular composite materials based on polymers, solvent, benzene, density, heat capacity, humidity, temperature, method of monotonous heating.

УДК 537.226.4

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ НА ТЕПЛОЕМКОСТЬ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА-ПОЛУПРОВОДНИКА ТЕЛЛУРИДА ГЕРМАНИЯ В СЕГНЕТОФАЗНОМ СОСТОЯНИИ

Д. Ф. Собиров
Курган-Тюбинский государственный университет им. Носира Хусрава, Курган-Тюбе, Таджикистан
s.j.f60@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты экспериментально-теоретического исследования поведения удельной теплоемкости сегнетоэлектрика-полупроводника GeTe с различной концентрацией носителей [p ~ (1,8; 2,0; 3,3; 6,0)·10^{20} см$^{-3}$] в сегнетофазном состоянии в интервале температур от комнатной температуры до окрестности точки Кюри T_c = 666 К. Для измерения теплоемкости исследуемых сегнетоэлектриков-полупроводников с различной концентрацией носителей нами использован динамический метод с дифференциальным сканирующим калориметром (ДСК). Установлено, что с ростом температуры в сегнетофазе значения удельной теплоемкости C_{P1}, C_{P2}, C_{P3} и C_{P4} керамического теллурида германия с различной концентрацией носителей [(p_1 = 1,8·10^{20} см$^{-3}$), (p_2 = 2,0·10^{20} см$^{-3}$), (p_3 = 3,3·10^{20} см$^{-3}$), (p_4 = 6,0·10^{20} см$^{-3}$)] соответственно в пределах погрешности имеют слабомонотонный увеличенный характер, но вблизи точки Кюри (T_c) наблюдается аномальный рост удельной теплоемкости, связанный с числом носителей.

Ключевые слова: сегнетоэлектрик, полупроводник GeTe, дифференциальный сканирующий калориметр (ДСК), температура Кюри, сегнетофаза, концентрация носителей, удельная теплоемкость.

В данной работе экспериментально-теоретическими методами были изучены особенности влияния концентрации носителей на теплоемкость сегнетоэлектрика-полупроводника теллурида германия и его поведения вблизи точки Кюри T_c, т.е. в сегнетофазном состоянии.

Теллурид германия представляет собой вырожденное полупроводниковое соединение p-типа с широкой областью гомогенности, незначительно смещенной в сторону теллура относительно стехиометрического состава (x = 0,503…0,515 при 600 К), и большой концентрацией носителей тока (p = (0,4…2,5)·10^{21} см$^{-3}$), возникающей в результате отклонения состава соединения от стехиометрии. При температуре $T \le T_c$ (T_c = 630…700 К) сплавы $Ge_{1-x}Te_x$ испытывают полиморфные фазовые переходы из высокотемпературной кубической β-фазы в низкотемпературные ромбоэдрическую α-фазу или ромбическую γ-фазу

Вырожденный сегнетоэлектрик-полупроводник р-типа $Ge_{1-x}Te_x$ обладает широкой областью гомогенности, которая смещена относительно стехиометрического состава (x = 0,503…0,505 при T ~ 600 К) в сторону теллура. Отклонение состава соединения от стехиометрии, кроме того, является причиной высокой концентрации носителей тока (р ~ (0,4…2,5)·10^{21} см$^{-3}$) [1]. В работе [2] показана возможность изменения почти на порядок концентрации носителей заряда р при изменении содержания теллура.

Измерения удельной теплоемкости (C_p) проводились на установке, описанной в диссертации Дж. Ф. Собирова [3]. Исследование удельной теплоемкости полупроводников теллурида германия с различной концентрации носителей (р ~ (1,8; 2,0; 3,3; 6,0)·10^{20} см$^{-3}$) в широком интервале температур от комнатной до 800 К проводилось с помощью дифференциального сканирующего калориметра (ДСК) динамическим методом. Все экспериментальные данные выполнены на базе специализированного управляющего вычислительного комплекса с использованием ЭВМ. Блок-схема установки приведена на рис. 1 [4, 5]. Погрешность измерения теплоемкости не превышала (3…5)%.

По результатам эксперимента было установлено, что в исследованном интервале температур удельная теплоемкость C_{P1}, C_{P2}, C_{P3} и C_{P4} в пределах погрешности монотонно увеличивается с температурой, а вблизи точки Кюри (T_c) наблюдается резкий рост.

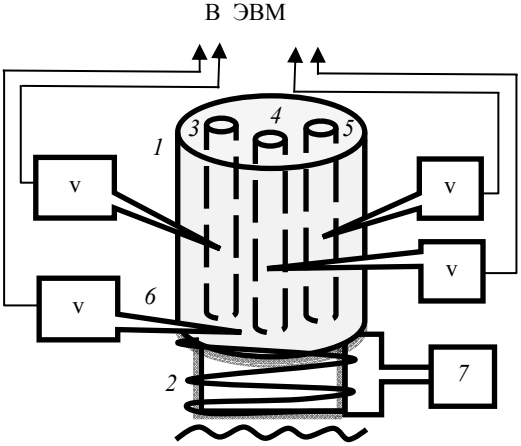


Рис. 1. Блок-схема установки для исследования теплоемкости:
1 – блок; *2* – нагреватель; *3*, *4*, *5* – ячейки с образцами и термопарами; *7* – блок управления нагревом

Значения удельной теплоемкости C_{P1} ($p_1 = 1{,}8\cdot10^{20}$ см$^{-3}$), C_{P2} ($p_2 = 2{,}0\cdot10^{20}$ см$^{-3}$), C_{P3} ($p_3 = 3{,}3\cdot10^{20}$ см$^{-3}$), и C_{P4} ($p_4 = 6{,}0\cdot10^{20}$ см$^{-3}$) керамического теллурида германия с различной концентрацией носителей p_1, p_2, p_3 и p_4 для различных температур представлены в табл. 1. Видно, что с ростом температуры C_{P1}, C_{P2}, C_{P3} и C_{P4} сегнетоэлектрика-полупроводника *GeTe* с различной концентрацией носителей вблизи точки Кюри T_c аномально возрастает.

1. Вычисленные значения теплоемкости C_{P1}, C_{P2}, C_{P3} и C_{P4} по формуле с экспериментальными значениями исследуемых образцов при различных концентрациях носителей и температурах

T, К	$P_1 = 1{,}8\cdot10^{20}$ см$^{-3}$			$P_2 = 2{,}0\cdot10^{20}$ см$^{-3}$		
	$C_{P1эксс}$, Дж/(кг·К)	$C_{P1расч}$, Дж/(кг·К)	Δ, %	$C_{P2эксс}$, Дж/(кг·К)	$C_{P2расч}$, Дж/(кг·К)	Δ, %
300	210,8	209	0,85	210,8	215,8	2,38
400	224,3	225,2	0,4	224,3	216,6	3,43
500	232,4	242,8	4,48	232,4	227,3	2,19
585	262,1	258,9	1,22	250	244,5	2,2
637	259,4	269,1	3,74	247,2	258,3	4,49
666	284,4	275	3,31	304,3	267,2	12,19
T, К	$P_3 = 3{,}3\cdot10^{20}$ см$^{-3}$			$P_4 = 6{,}0\cdot10^{20}$ см$^{-3}$		
	$C_{P3эксс}$, Дж/(кг·К)	$C_{P3расч}$, Дж/(кг·К)	Δ, %	$C_{P4эксс}$, Дж/(кг·К)	$C_{P4расч}$, Дж/(кг·К)	Δ, %
300	210,8	222,3	5,45	210,8	235,2	11,5
400	224,3	209	6,82	224,3	187	16,6
500	232,4	213,5	8,13	232,4	207,4	10,7
585	236	233,6	1,02	262,1	279,7	6,7
637	236	252,5	6,99	298	347,4	16,6
666	321,6	265,3	17,5	550	392,9	28,6

По результатам измерения керамического теллурида германия с концентрацией носителей соответственно для $p_1 = 1{,}8\cdot10^{20}$ см$^{-3}$, $p_2 = 2{,}0\cdot10^{20}$ см$^{-3}$, $p_3 = 3{,}3\cdot10^{20}$ см$^{-3}$ и $p_4 = 6{,}0\cdot10^{20}$ см$^{-3}$ построены (зависимости удельной теплоемкости C_{P1}, C_{P2}, C_{P3} и C_{P4} от температуры (рис. 2). Полученная температурная зависимость удельной теплоемкости теллурида германия с различной концентрацией носителей в сегнетофазном состоянии имеет слабо монотонный увеличенный характер, но вблизи точки Кюри наблюдается аномальной рост удельной теплоемкости (рис. 2).

Используя метод наименьших квадратов, компьютерную программу Exsel и экспериментальные результаты функциональной зависимости удельной теплоемкости $C_{P1} = f(p_1, T)$, $C_{P2} = f(p_2, T)$, $C_{P3} = f(p_3, T)$ и $C_{P4} = f(p_4, T)$ в сегнетофазном состоянии получим следующие эмпирические уравнения:

$$C_{p1} = 6{,}9942\cdot10^{-5}\cdot T^2 + 0{,}1127T + 168{,}907;\ (\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})) \quad (T \geq 300\ \ldots 666\ \text{К} = T_c), \tag{1}$$

$$C_{p2} = 4{,}9951\cdot10^{-4}T^2 - 3{,}4215\cdot10^{-1}T + 273{,}5192;\ (\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})) \quad (T \geq 300\ldots 666\ \text{К} = T_c), \tag{2}$$

$$C_{p3} = 6{,}7411\cdot10^{-4}T^2 - 8{,}2343\cdot10^{-1}T + 381{,}6669;\ (\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})) \quad (T \geq 300\ldots 666\ \text{К} = T_c), \tag{3}$$

$$C_{p4} = 3{,}4352\cdot10^{-3}T^2 - 2{,}8871T + 792{,}17;\ (\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})) \quad (T \geq 300\ldots 666\ \text{К} = T_c), \tag{4}$$

где T – температура, процентная оцениваемая нами общая погрешность определения C_P не превышает 7…8%.

На рисунке 2 представлены температурная зависимость удельной теплоемкости C_{P1}, C_{P2}, C_{P3} и C_{P4} керамического теллурида германия с различными концентрациями носителей и сравнение их результатов расчета по уравнению (1) – (4) с опытными данными для сегнетоэлектрической фазы, которая имеет слабо монотонный увеличенный характер, но только вблизи точки Кюри (T_c) у керамического GeTe с различной концентрацией носителей наблюдается значительное (или резкое) увеличение удельной теплоемкости C_{P1}, C_{P2}, C_{P3} и C_{P4}, связанное с числом носителей.

Экспериментально-теоретическим методом нами получены данные по удельной теплоемкости C_{P1}, C_{P2}, C_{P3} и C_{P4} полупроводника керамического GeTe с различной концентрацией носителей ($p_1 = 1{,}8\cdot10^{20}$ см$^{-3}$, $p_2 = 2{,}0\cdot10^{20}$ см$^{-3}$, $p_3 = 3{,}3\cdot10^{20}$ см$^{-3}$ и $p_4 = 6{,}0\cdot10^{20}$ см$^{-3}$) при различных температурах при сегнетофазном состоянии. На основе экспериментальных данных и закона термодинамического подобия получен ряд эмпирических уравнений.

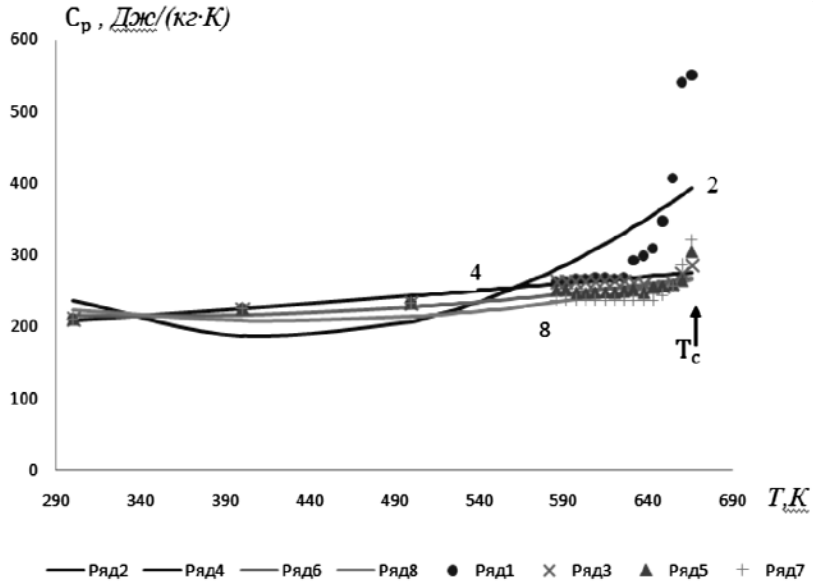


Рис. 2. Температурная зависимость удельной теплоемкости C_P (р, T) полупроводника теллурида германия (керамич.) с различными концентрациями носителей в сегнетофазном состоянии. Обозначение: × – $p_1 = 1{,}8 \cdot 10^{20}$ см$^{-3}$; ▲ – $p_2 = 2{,}0 \cdot 10^{20}$ см$^{-3}$; + – $p_3 = 3{,}3 \cdot 10^{20}$ см$^{-3}$; ● – $p_4 = 6{,}0 \cdot 10^{20}$ см$^{-3}$; – эксперимент; – – соответственно 4, 6, 8, 2 – теор. расчет

Список литературы

1. Коржуев, М. А. Теллурид германия и его физические свойства / М. А. Коржуев. – – М.: Наука, 1986. – С. 103.

2. Фазовый переход в нестехиометрическом теллуриде германия / С. И. Новикова, Л. Е. Шелимова, Е. С. Авилов, М. А. Коржуев // ФТТ. – 1975. – Т. 17, № 8. – С. 2379 – 2381.

3. Собиров, Дж. Ф. Влияние носителей на теплоемкость сегнетоэлектрика-полупроводника в окрестности фазового перехода: автореф. … канд. техн. наук / Д. Ф. Собиров. – Ленинград: ЛГПИ им. А. И. Герцена, 1990. – 12 с.

4. Собиров, Дж. Ф. Теплофизические и термодинамические свойства полупроводника GeTe в сегнетоэлектрическом состоянии / Дж. Ф. Собиров, М. М. Сафаров // Фазовые переходы, критическое и нелинейное явление в конденс. среды: сб. тр. Междунар. конф., 6 – 9 сентября 2017. – Махачкала, 2017. – С. 234 – 237.

5. Собиров, Дж. Ф. Поведение, термодинамические характеристики полупроводника GeTe в сегнето- и парафазном состоянии / Дж. Ф. Собиров // Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал). Сер. естественных наук. – Душанбе: Сино, 2018. – № 1. – С. 88 – 96.

INFLUENCE OF THE TEMPERATURE AND CONCENTRATION OF MEDIA ON THE HEAT TREATMENT OF THE SEGNETIC ELECTRIC-SEMICONDUCTOR TELLURIDE OF GERMANY IN THE SEGNETIC PHASE STATE

J. F. Sobirov
Kurgan-Tyube State University named after Nosir Khusraw,
Kurgan-Tube, *Tajikistan*
s.j.f60@mail.ru

Abstract. The results of an experimental-theoretical study of the behavior of the specific heat of a ferroelectric semiconductor GeTe with different carrier concentrations [p ~ (1,8; 2,0; 3,3; 6,0)·10^{20} см$^{-3}$] in the ferroelectric phase in the temperature range from room temperature to the vicinity of the Curie point T_c = 666 K. To measure the specific heat of the ferroelectric semiconductors under study with different carrier concentrations, we used a dynamic method with a differential scanning calorimeter (DSC). It was found that with increasing temperature in the ferroelectric phase the values of the specific heat of C_{P1}, C_{P2}, C_{P3} и C_{P4} of ceramic germanium telluride with different carrier concentrations [(p_1 = 1,8·10^{20} см$^{-3}$), (p_2 = 2,0·10^{20} см$^{-3}$), (p_3 = 3,3·10^{20} см$^{-3}$), (p_4 = 6,0·10^{20} см$^{-3}$)] has a slightly monotonous increased character, within the error limits, but an anomalous increase in the specific heat associated with the number of carriers is observed near the Curie point (T_c).

Keywords: ferroelectric, GeTe semiconductor, differential scanning calorimeter (DSC), Curie temperature, ferroelectric phase, carrier concentration, specific heat.

УДК 537.226.4

ПОВЕДЕНИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКА GETE В СЕГНЕТО- И ПАРАФАЗНОМ СОСТОЯНИИ

Д. Ф. Собиров
Курган-Тюбинский государственный университет им. Носира Хусрава, Курган-Тюбе, Таджикистан
s.j.f60@mail.ru

Аннотация. Приводятся результаты экспериментально-теоретического исследования поведения теплоемкости, энтропии, энтальпии и энергии Гиббса полупроводника GeTe в сегнето- (300…666 К) и парафазном (666…720 К) состоянии в интервале температур 300…720 К. Для измерения теплоемкости, энтропии, энтальпии и энергии Гиббса исследуемых полупроводников нами использован динамический метод с дифференциальным сканирующим калориметром (ДСК). Установлено, что с ростом температуры в сегнетофазе значения энтальпии ($\Delta H > 0$) и энтропии ($\Delta S > 0$) кристалла теллурида германия увеличиваются, а энергия Гиббса ($G(T) < 0$) уменьшается. Но вблизи точки Кюри T_c наблюдается резкое уменьшение энергии Гиббса исследуемого вещества. А в параэлектрическом состоянии изменение этих величин ведет себя иначе (т.е. наоборот), что с ростом температуры значения теплоемкости C_p, энтальпии (($\Delta H < 0$) и энтропии (($\Delta S < 0$) кристалла теллурида германия уменьшаются, а энергия Гиббса ($G(T) > 0$) экспоненциально увеличивается, т.е. в начале парафазы до 681К резко увеличивается $G(T)$, но с отдалением от точки Кюри $T > 681$ К в пределах погрешности опыта остается постоянным.

Ключевые слова: сегнетоэлектрик, полупроводник GeTe, дифференциальный сканирующий калориметр (ДСК), температура Кюри, сегнетофаза, парафаза, теплоемкость, энтропия, энтальпия, энергия Гиббса.

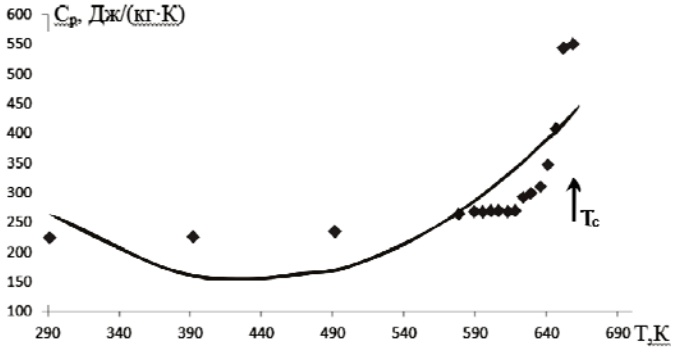
Экспериментально-теоретическим методом нами получены данные по удельной теплоемкости, энтальпии, энтропии и изменению энергии Гиббса полупроводника GeTe при различных температурах в сегнетофазном и парафазном состоянии. На основе экспериментальных данных и закона термодинамического подобия получен ряд эмпирических уравнений.

В данной работе исследовалось поведение термодинамических параметров (C_P, ΔH, ΔS и G) и их изменения, происходящие от комнатных температур до 720 К (включая окрестности точки Кюри), т.е. в сегнето- и параэлектрическом фазовом состоянии, в полупроводниковых кристаллах GeTe.

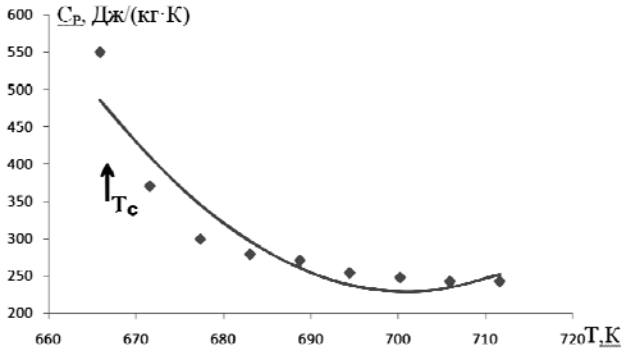
Исследование удельной теплоемкости полупроводника теллурида германия в широком интервале температур от комнатной до 800 К проводилось с помощью дифференциального сканирующего калори-

метра (ДСК) динамическим методом. Все экспериментальные данные выполнены на базе специализированного управляющего вычислительного комплекса с использованием ЭВМ.

В сегнетофазе по результатам эксперимента было установлено, что в исследованном интервале температур удельная теплоемкость C_P в пределах погрешности монотонно увеличивается с температурой, а вблизи точки Кюри (T_c) наблюдается аномальный (резкий) рост (рис. 1, *а*) [1, 2]. Однако в парафазном состоянии по результатам эксперимента было установлено, что в исследованном интервале температур $T \geq T_c \sim 666$ К удельная теплоемкость C_p в пределах погрешности экспоненциально уменьшается с температурой.



а)



б)

Рис. 1. Температурная зависимость теплоемкости C_P полупроводника GeTe в сегнетофазном ($T \geq 300…666$ К) и парафазном ($T \geq 666…720$ К) состоянии. Обозначения:
■ – эксперимент; – – теор. расч.

Полученная температурная зависимость удельной теплоемкости теллурида германия в парафазном состоянии имеет экспоненциально уменьшенный характер, т.е. в начале парафазы до 681 К выше точки Кюри T_c резко уменьшается C_P, но с отдалением от точки Кюри $T > 681$ К в пределах погрешности опыта остается постоянной (рис. 1, *б*).

Вероятно, аномальное изменение величин в районе критического и закритического T_c состояния связано и с изменением причин, вызывающих структурную неустойчивость. Так как при температуре $T \geq T_c$ кристалл теллурида германия испытывает полиморфные фазовые переходы: сегнетоэлектрический ($\alpha \rightarrow \beta$) и антисегнетоэлектрический ($\beta \rightarrow \alpha$), а при этом наблюдается структурный переход ($\alpha \rightarrow \gamma$) [3, 4].

Экспериментальное измерение теплоемкости для разных интервалов температур является основным методом определения термодинамических свойств веществ. Для расчета температурной зависимости энтальпии, энтропии и энергии Гиббса кристалла теллурида германия использовали интегральные выражения от удельной теплоемкости: $G(T) = H(T) - T\Delta S$ – энергия Гиббса, $\Delta H = C_P(T)(T - T_0) = C_P(T)\Delta T$ – энтальпия, $\Delta S = C_P(T)\ln\dfrac{T}{T_0}$ – энтропия.

Установлено, что с ростом температуры в сегнетофазе значения энтальпии ($\Delta H > 0$) и энтропии ($\Delta S > 0$) кристалла теллурида германия увеличиваются, а энергия Гиббса ($G(T) < 0$) уменьшается. Но вблизи точки Кюри T_c наблюдается резкое уменьшение энергии Гиббса исследуемого вещества (рис. 2, *а*). А в параэлектрическом состоянии изменение этих величин ведет себя иначе (т.е. наоборот), что с ростом температуры значения теплоемкости C_P, энтальпии ($\Delta H < 0$) и энтропии ($\Delta S < 0$) кристалла теллурида германия уменьшается, а энергия Гиббса ($\Delta H > 0$) экспоненциально увеличиваются, т.е. в начале парафазы до 681 К резко увеличивается $G(T)$, но с отдалением от точки Кюри $T > 681$ К в пределах погрешности опыта остается постоянным (рис. 2, *б*).

Для расчета температурной зависимости удельной теплоемкости C_p и энергии Гиббса $G(T)$ теллурида германия (применяя метод наименьших квадратов) использовали уравнения:

в сегнетофазе

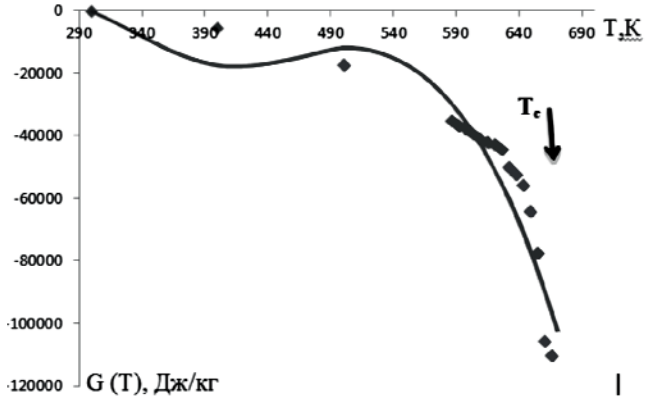
$$C_P = 5\cdot10^{-5}T^3 - 0{,}0633T^2 + 27{,}791T - 3700{,}1$$
$$(T \geq 300\ldots666\ \text{К}),\ (\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}));$$

$$G(T) = -0{,}009T^3 + 11{,}947T^2 - 5205{,}2T + 729\,045{,}696, \text{ Дж/кг},$$

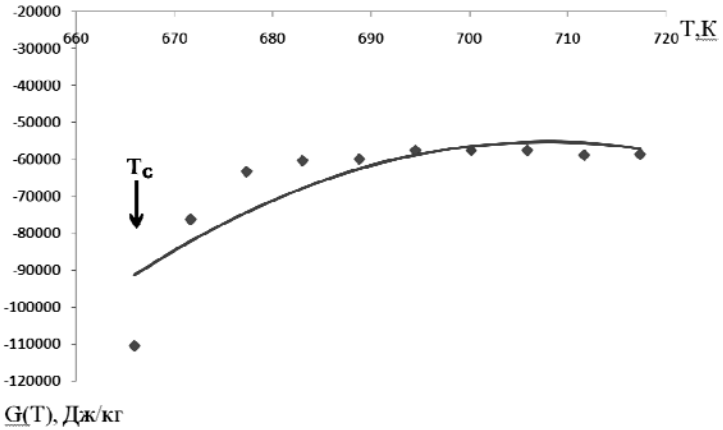
а в парафазе

$$C_P = 2{,}0815\cdot10^{-1}T^2 - 291{,}8365T + 102{,}5239\cdot10^3$$
$$(T \geq T_c), \text{ (Дж/(кг·К))};$$

$$G(T) = -20{,}5263T^2 + 29\,055{,}378T - 103{,}3729\cdot10^5, \text{ Дж/кг}.$$



а)



б)

Рис. 3. Температурная зависимость энергии Гиббса $G(T) = H(T) - TS(T)$ полупроводника GeTe в сегнетофазном ($T \geq 300\ldots666$ К) и парафазном ($T \geq 666\ldots720$ К) состоянии. Обозначения:
■ – эксперимент; – – теор. расч.

Список литературы

1. Собиров, Дж. Ф. Термодинамические свойства полупроводника GeTe в сегнетофазном состоянии / Дж. Ф. Собиров, М. М. Сафаров // Ученые записки. Сер. естественные и экономические науки. ХГУ имени акад. Б. Гафурова. – Худжанд, 2017. – № 2(41). – С. 83 – 93.
2. Собиров, Дж. Ф. Поведение теплоемкости, энтальпии, энтропии и энергии Гиббса полупроводника GeTe в сегнетофазном состоянии / Дж. Ф. Собиров, М. М. Сафаров // Развитие науки в XXI веке: XXV междунар. конф. 15.05.2017 г. Ч. 1. – Харьков: Научно-информационный центр «Знание», 2017. – С. 80 – 88.
3. Pawley, G. S. Evidence of ferroelectricity in IV –VI compounds / G. S Pawley // J. Pyes. – 1968. – V. 29, N 11/12. – P. (C4) 145 – 150.
4. Тепловые эффекты и механизм фазовых переходов в GeTe / М. А. Коржуев, Г. К. Деменский, О. А. Теплов, Л. А. Петров. – М.: ИМЕТ, 1981. – 55 с.

BEHAVIOR OF THE THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE SEMICONDUCTOR GETE IN THE SEGNET AND PARAPHASE STATE

J. F. Sobirov
Kurgan-Tyube State University named after Nosir Khusraw, Kurgan-Tube, Tajikistan
s.j.f60@mail.ru

Abstract. The results of an experimental theoretical study of the behavior of the heat capacity, entropy, enthalpy, and Gibbs energy of a GeTe semiconductor in ferroelectric (300…666 K) and paraphase (666…720 K) states in the temperature range 300…720 K are presented. To measure the heat capacity, entropy, enthalpy, and Gibbs energy of the semiconductors under investigation, we used a dynamic method with a differential scanning calorimeter (DSC). It is established that with increasing temperature in the ferroelectric phase, the enthalpy ($\Delta H > 0$) and entropy ($\Delta S > 0$) values of the germanium telluride crystal increase, and the Gibbs energy ($G(T) < 0$) decreases. But near the Curie point T_c, a sharp decrease in the Gibbs energy of the investigated substance is observed. In the paraelectric state, the changes in these quantities behave differently (conversely) that with increasing temperature the values of the specific heat C_p, enthalpy (($\Delta H < 0$) and entropy (($\Delta S < 0$) of the germanium telluride crystal decrease, and Gibbs energy ($G(T) > 0$) increase exponentially, e. At the beginning of the paraphase up to 681 K, $G(T)$ increases sharply, but with separation from the Curie point $T > 681$ K remains constant within the error of the experiment.

Keywords: ferroelectric, a GeTe semiconductor, a differentials canning calorimeter (DSC), a Curie temperature, a ferroelectric phase, a paraphase, a heat capacity, entropy, enthalpy, Gibbs energy.

УДК 536.23.43

ПОТЕНЦИАЛ ЛЕННАРДА–ДЖОНСА И СКОРОСТЬ УПРУГОЙ ВОЛНЫ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ СОЕДИНЕНИЯ $A^{IV}B^{VI}$

Д. Ф. Собиров[1], М. М. Сафаров[2]

[1]Курган-Тюбинский государственный университет им. Носира Хусрава, Курган-Тюбе, Таджикистан
s.j.f60@mail.ru

[2]Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова, Душанбе, Таджикистан
mahmad1@list.ru

Аннотация. Представлены некоторые результаты численных расчетов зависимости энергии взаимодействия двух частиц полупроводника теллурида германия от расстояния между ними, и температурной зависимости скорости распространения упругой (звуковой) волны исследуемого образца в сегнетофазном состоянии. Для расчета энергии взаимодействия частиц молекулы теллурида германия используется потенциал Леннарда–Джонса. А также исследовались поведения скорости распространения упругой волны (звуковой) ϑ и ее изменения, происходящие от комнатных температур до окрестности точки Кюри $T \le T_c$, т.е. в сегнетоэлектрическом фазовом состоянии. По расчетам видно, что с ростом температуры в сегнетофазе значение скорости распространения упругой волны (звуковой) ϑ кристалла теллурида германия уменьшается по экспоненциальному закону, но вблизи точки Кюри наблюдается резкое уменьшение скорости распространения упругой волны ϑ (затухание звука) исследуемого вещества до нуля.

Ключевые слова: полупроводник GeTe, потенциал Леннарда–Джонса, ковалентная связь, средний радиус молекулы, сферическая форма, скорость распространения упругой волны (звуковой), точка Кюри, сегнетофаза.

В настоящее время можно считать установленным, что физические свойства полупроводников определяются положением элементов в периодической системе, следовательно, характером электронного взаимодействия между ними, а также кристаллической структурой.

Исследование известных элементарных полупроводников и полупроводниковых соединенный показывает, что полупроводимость является результатом наличия в твердом теле преобладающей ковалентной связи между атомами и особенностями этого вида электронного взаимодействия. Ковалентная связь – это такая химическая связь, которая образуется за счет взаимодействия неспаренных электронов, занимающих одну молекулярную орбиту.

При образовании полупроводниковых веществ выполняются общие закономерности: ковалентная связь в элементарных полупроводни-

ках создается путем заполнения sp-орбит всех атомов; в полупроводниковых соединениях при образовании ковалентных связей достаточно заполнения sp-орбит одного вида атомов, связанных вместе. Наличие пустых металлических орбит в некоторых атомах соединения не мешает полупроводимости, если эти атомы не связаны между собой; полупроводники подчиняются валентному правилу Музера–Пирсона [1]

$$\frac{n_{\text{в}}}{n_{\text{а}}} + b = 8, \tag{1}$$

где $n_{\text{в}}$ – число валентных электронов, приходящихся на одну молекулу полупроводника; $n_{\text{а}}$ – число атомов IV – VI групп периодической системы; b – число связей, образуемых одним из этих атомов с другими атомами IV – VI групп.

Соединения $A^{IV}B^{VI}$(A = Ge, Sn, PЬ; B = S, Se, Te) стехиометрического состава подчиняются валентному правилу октета формула (1) по [2]: $n_{\text{e}} = 10$ – общее число валентных электронов (s и p), приходящихся на молекулу; $n_{\text{a}} = 2$ – число атомов в молекуле; $b = 3$ – среднее число связей, приходящихся на атом в кристалле, в результате чего их валентная зона заполнена, а зона проводимости пуста (T = 0 K).

Потенциал Леннарда–Джонса – простая модель парного взаимодействия неполярных молекул, описывающая зависимость энергии взаимодействия двух частиц от расстояния между ними. Эта модель достаточно реалистично передает свойства реального взаимодействия сферических молекул, и поэтому широко используется в расчетах и при компьютерном моделировании.

Для этих целей использовали подход [3], согласно которому потенциальная энергия взаимодействия двух одинаковых полых сферических молекул имеет вид:

$$U(Z) = -\alpha\left[\frac{1}{S(S-1)^3} + \frac{1}{S(S+1)^3} - \frac{2}{S^4}\right] + \beta\left[\frac{1}{S(S-1)^9} + \frac{1}{S(S+1)^9} - \frac{2}{S^{10}}\right], \tag{2}$$

где

$$\alpha = \frac{N^2 D}{6}\left[\frac{r_0}{2R}\right]^6, \ \beta = \frac{N^2 D}{90}\left[\frac{r_0}{2R}\right]^{12}, \ S = \frac{Z}{2R}, \tag{3}$$

где N – атомов в молекуле; R – радиус молекулы; D и r_0 – параметры потенциала Леннарда–Джонса. Молекулы теллурида германия можно более точно представить в виде вытянутого эллипсоида вращения

с параметрами a = 0,436 нм, b = 0,415 нм [2]. Чтобы воспользоваться формулой (2) для расчета потенциальной энергии взаимодействия двух молекул GeTe требуется определить средний радиус этой молекулы.

Средний радиус молекулы теллурида германия с учетом (3) вычисляется по формуле:

$$R(\mathrm{GeTe}) = \frac{4}{3}\frac{\sqrt{(a^2-b^2)^3}}{a^2\left[\pi - 2\arcsin\left(\frac{b}{a}\right)\right] - 2b\sqrt{a^2-b^2}}. \qquad (4)$$

Расчет по формуле (4) дает следующее значение для среднего радиуса R(GeTe) = 0,842 нм.

На рисунке 1 показаны зависимость потенциальной энергии взаимодействия от расстояния между молекулами GeTe. Расстояние Z отсчитывается от центра молекул. Параметры потенциала Леннарда–Джонса невалентного взаимодействия атомов теллурида германия имеют следующие значения[4, 5]: D = 7 Мэв, r_0 = 0,335 нм.

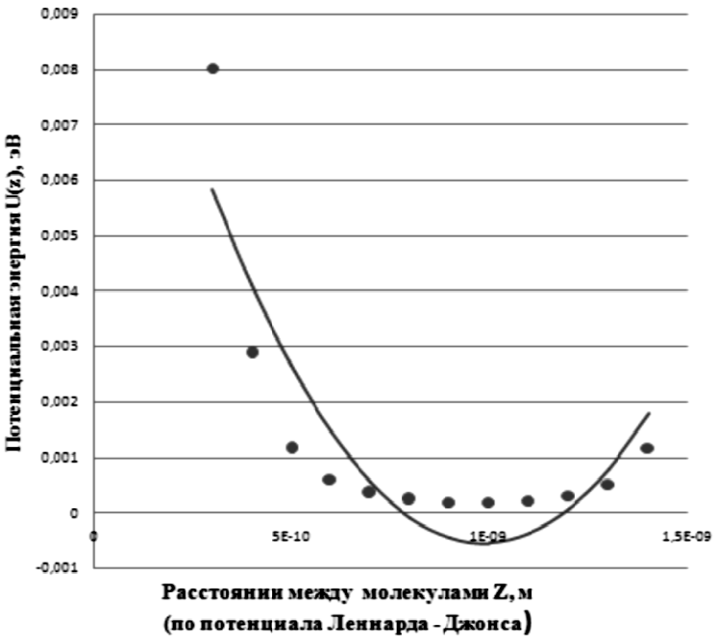


Рис. 1. Зависимость потенциальной энергии взаимодействия $U(Z)$ между молекулами теллурида германия от расстояния

Как известно, звук – это продольная волна, которая распространяется в некой среде и создает в ней механические колебания, т.е. колебания частиц, собственного вещества, в котором она распространяется.

При воздействии звуковой волны на сегнетоэлектрик величина поляризации отклоняется от равновесного значения, поскольку она связана с деформацией звуковой волны посредством пьезоэлектрического или электрострикционного эффектов. Вблизи точки фазового перехода это приводит к аномальному затуханию звука. Исследование аномального поглощения и скорости звука вблизи фазового перехода позволяет исследовать кинетические процессы, происходящие при этом, и определить значение кинетического коэффициента и температурную зависимость времени релаксации.

В другой части работы исследовались поведения акустического параметра ϑ – скорости распространения упругой волны (звуковой) и ее изменения, происходящие от комнатных температур до окрестности точки Кюри $T \le T_c \sim 666$ К, т.е. в сегнетоэлектрическом фазовом состоянии, в полупроводниковых кристаллах GeTe.

Для расчета температурной зависимости скорости распространения упругой волны (звуковой) кристалла теллурида германия с комнатной температуры до окрестности точки Кюри T_c использовали выражение [6]:

$$\tau_{кр s} = \tau_0 \sqrt{T} \Big/ \sqrt{T_c - T}\,,$$

где $\tau_0 = C_{p00}\sqrt{C} \Big/ 4\sqrt{3}\,\aleph_к \sqrt{a^5} T_c^{3/2}$ – время релаксации.

Скорость звука вблизи критической точки Кюри T_c равна

$$\vartheta = \delta \sqrt[4]{T_c - T}\,, \qquad (5)$$

где $\delta = 0{,}7154 \cdot 10^3$ м/(с·К$^{1/4}$).

Рассчитанные значения по уравнению (5) скорости звука $\vartheta = f(T)$ полупроводника GeTe в зависимости от температуры в сегнетофазе, включая окрестности точки Кюри T_c представлены на рис. 2. Установлено, что с ростом температуры в сегнетофазе значение скорости распространения упругой волны (звуковой) ϑ кристалла теллурида германия экспоненциально уменьшается. Но вблизи точки Кюри наблюдается резкое уменьшение скорости распространения упругой волны исследуемого вещества до нуля (рис. 2).

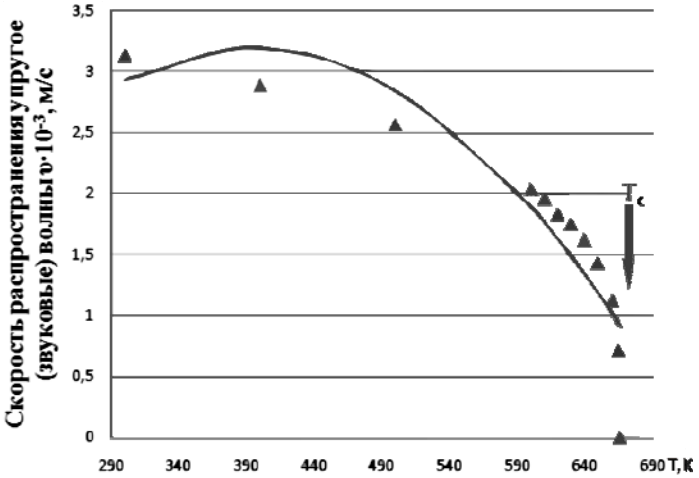


Рис. 2. Температурная зависимость скорости распространения упругой (звуковой) волны (υ·10^{-3}, м/с) полупроводника теллурида германия в сегнетофазном состоянии. Обозначение:
▲ – эксперимент; — – теор. расчет

Используя метод наименьших квадратов и рассчитанные результаты функциональной зависимости потенциальной энергии взаимодействия $U(Z)$ от расстояния между молекулами GeTe и скорости распространения упругой волны (звуковой) $\vartheta = f(T)$ исследуемого вещества в сегнетофазном состоянии получим соответственно следующее эмпирическое уравнения:

$$U(Z) = 1{,}3649\cdot10^{16}\cdot Z^2 - 26{,}8756\cdot10^{6}\cdot Z + 1{,}2679\cdot10^{-2},$$
$$\vartheta = -1{,}5329 + 2{,}4058\cdot10^{-2}\cdot T - 3{,}0610\cdot10^{-5}\cdot T^2.$$

Список литературы

1. Полупроводниковые вещества (вопросы химической связи) / под ред. В. Л. Жузе; пер. с англ. – М.: Изд-во «Иностр. лит.», 1960. – 294 с.

2. Коржуев, М. А. Теллурид германия и его физические свойства / М. А. Коржуев. – М.: Наука, 1986. – 103 с.

3. Girifalco, L. A. // J. Phys. Chem. – 1992. – V. 96. – P. 858.

4. Allen, M. P. Computer Simulation of liguids / M. P. Allen, D. J. Tildesley // Oxford University Press, 1990.

5. Каплан, И. Г. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий / И. Г. Каплан. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 312 с.

6. Ноздрев, В. А. Молекулярная акустика / В. А. Ноздрев, Н. М. Федорищенко. – М.: Высшая школа, 1974. – 288 с.

LENNARD–JOHNS POTENTIAL AND SPEED OF ELASTIC WAVE FOR CONNECTION SEMICONDUCTORS $A^{IV}B^{VI}$

J. F. Sobirov[1], M. M. Safarov[2]
[1]Kurgan-Tyube State University named after Nosir Khusraw, Kurgan-Tube, Tajikistan
s.j.f60@mail.ru
[2]Branch of Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Dushanbe, Tajikistan
mahmad1@list.ru

Abstract. The paper presents some results of numerical calculations of the interaction energy of two particles of a germanium telluride semiconductor on the distance between them, and the temperature dependence of the velocity of propagation of the elastic (sound) wave of the sample under study in the ferroelectric phase. To calculate the interaction energy of particles of the germanium telluride molecule, the Lennard–Jones potential is used. We also investigated the behavior of the velocity of propagation of an elastic wave (sound) ϑ and its changes, which take place from room temperature to the Curie point of ($T \le T_c$), i.e. in the ferroelectric phase state. It can be seen from the calculations that with increasing temperature in the ferroelectric phase, the propagation velocity of the elastic wave (sound) ϑ of the germanium telluride crystal decreases exponentially, but near the Curie point, the propagation velocity of the elastic wave ϑ (sound attenuation) of the substance under investigation is abruptly reduced to zero.

Keywords: GeTe semiconductor, Lennard–Jones potential, covalent bond, mean radius of the molecule, spherical shape, elastic wave propagation velocity (sound), Curie point, ferroelectric phase.

УДК 536.12.36

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ГИДРАЗИНЗАМЕЩЕННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ВЫСОКИХ ПАРАМЕТРАХ СОСТОЯНИЯ

М. Т. Тургунбаев[1], М. М. Сафаров[2], М. А. Зарипова[3], Х. Х. Ойматова[1], З. К. Хусайнов[1], Ш. Р. Сафаров[1], К. Мухамадали[1]

[1]Бохтарский государственный университет им. Н. Хусрава, Бохтар, Таджикистан

[2]Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова, Душанбе, Таджикистан

[3]Таджикский технический университет имени акад. М. С. Осими, Душанбе, Таджикистан

muso1970@mail.ru; *mahmad1@list.ru*; *mohira.zaripova@list.ru*; *zubayd@mail.ru*; *shohin.safarov@mail.ru*; *kurbonali.21@mail.ru*

Аннотация. Описано измерение теплопроводности гидразинзамещенных водных растворов при высоких температурах и давлениях, которое используется при обработке экспериментальных данных для расчета температуропроводности гидразинзамещенных водных растворов при различных температурах и давлениях.

Ключевые слова: теплопроводность, аэрозин, температура, давление, плотность.

Для получения расчетного уравнения по температуропроводности гидразинзамещенных водных растворов в зависимости от температуры и давления использовали следующую функциональную зависимость

$$\frac{\alpha_{p,T}}{\alpha_{p_1,T_1}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right), \qquad (1)$$

где $\alpha_{p,T}$ – температуропроводность исследуемых растворов при давлении P и температуре T; α_{p_1,T_1} – температуропроводность аэрозина при давлении P_1 и температуре T_1; P_1 = 24,7 МПа и T_1 = 293 К.

Выполнимость зависимости (1) для водных растворов диметилгидразина графически показана на рис. 1. Из этого рисунка видно, что экспериментальные данные хорошо укладываются вдоль отдельных изотерм.

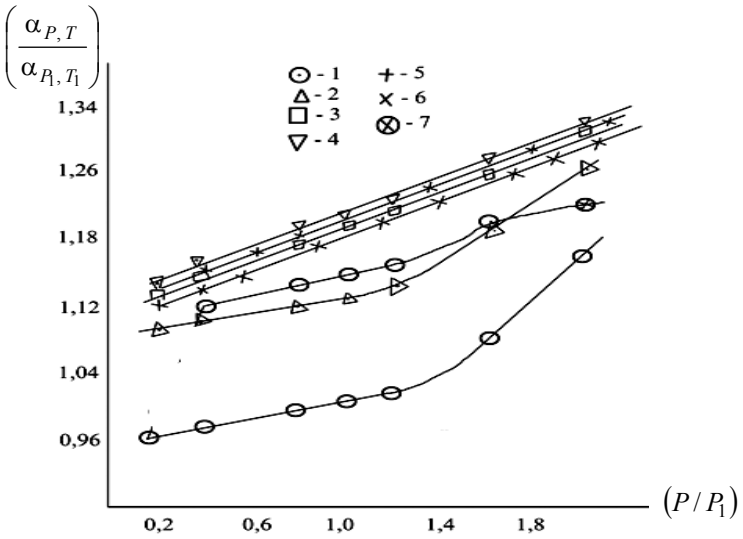


Рис. 1. Зависимость относительной температуропроводности $\left(\frac{\alpha_{P,T}}{\alpha_{P_1,T_1}}\right)$ **от относительного давления** $\left(\frac{P}{P_1}\right)$ **для водных растворов диметилгидразина при различных температурах P_1 = 24,7 МПа:**
1 – T = 293 К; *2* – T = 333 К; *3* – T = 373 К; *4* – T = 413 К; *5* – T = 453 К; *6* – T = 493 К; *7* – T = 533 К

Далее экспериментальные данные обрабатывались в виде следующей функциональной зависимости

$$\left(\frac{(\alpha_{P,T}/\alpha_{P_1,T_1})}{(\alpha_{P,T}/\alpha_{P_1,T_1})_1}\right) = f\left[\frac{(\rho/\rho_1)/(\rho/\rho_1)}{((\rho/\rho_1)/(\rho/\rho_1))_1}\right], \qquad (2)$$

где $(\rho/\rho_1)_1 = 1{,}0$; $(\alpha_{P,T}/\alpha_{P_1,T_1})_1$ является функцией абсолютной температуры, т.е. $\left(\frac{\alpha_{P,T}}{\alpha_{P_1,T_1}}\right)_1 = f(T)\alpha_{P_1,T_1} = f(n_{H_2O})$ – является функцией мольной концентрации воды.

Выполнимость зависимости (2) для всех гидразинзамещенных водных растворов показана на рис. 2, из которого видно, что экспериментальные точки хорошо укладываются вдоль общей кривой.

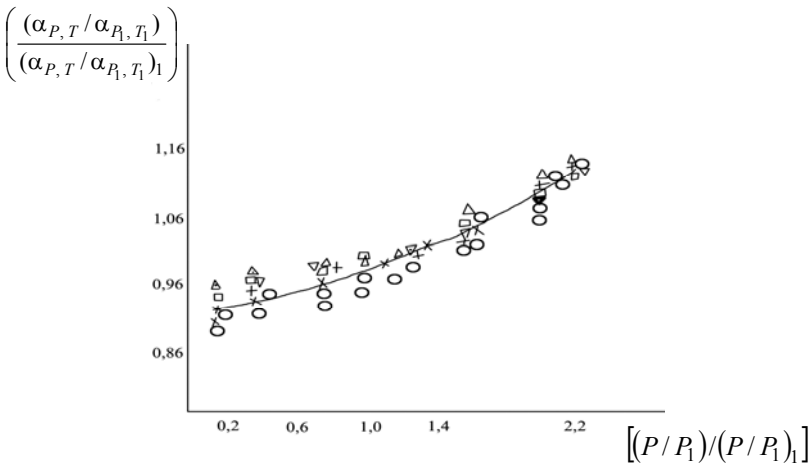


Рис. 2. Зависимость относительной температуропроводности $\left(\frac{(\alpha_{P,T}/\alpha_{P_1,T_1})}{(\alpha_{P,T}/\alpha_{P_1,T_1})_1}\right)$ **от относительного давления** $[(P/P_1)/(P/P_1)_1]$.

Обозначения как на рис. 1.

Для водных растворов диметилгидразина:

$$\frac{a_{P,T}/a_{P_1,T_1}}{(a_{P,T}/a_{P_1,T_1})_1} = \left\{-0{,}033\left[\frac{(p/p_1)}{(p/p_1)_1}\right]^2 + 0{,}17\left[\frac{(p/p_1)}{(p/p_1)_1}\right] + 0{,}85\right\}. \quad (3)$$

Как выше было отмечено, значение $(a_{P,T}/a_{P_1,T_1})_1$ и a_{P_1,T_1} являются функциями температуры и мольной концентрации воды (рис. 3).

Для расчета температуропроводности гидразинзамещенных водных растворов в зависимости от температуры и давления по уравнениям (2) – (3) надо знать значения $a_{P,T}$ и $[(P/T)/(P_1/T_1)]_1$.

Для водных растворов аэрозина и диметилгидразина соответственно

$$a_{P_1,T_1} = 1{,}29\cdot10^{12} n^2_{H_2O} - 1{,}26\cdot10^{-11} n_{H_2O} + 1{,}5610^{-7},\ \text{м}^2\text{с}. \quad (4)$$

Величина $(a_{P,T}/a_{P_1,T_1})_1$ для исследуемых объектов является функцией температуры (рис. 3). $(a_{P,T}/a_{P_1,T_1})_1 = f(T)$.

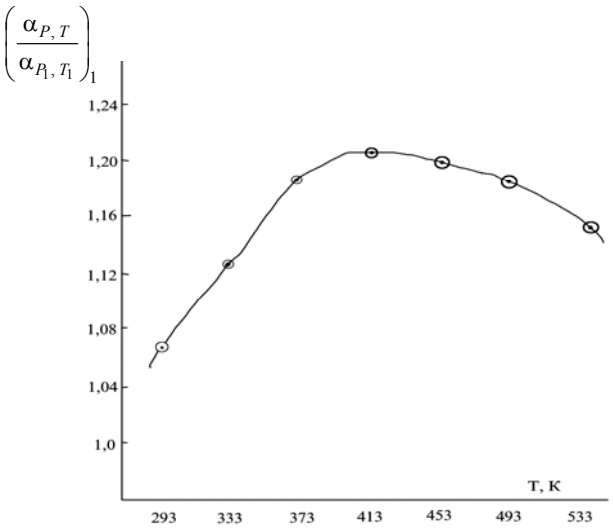


Рис. 3. Зависимость относительной температуропроводности $\left(\frac{\alpha_{P,\,T}}{\alpha_{P_1,\,T_1}}\right)$ **от абсолютной температуры *T*, К. Обозначения как на рис. 1.**

Для получения единой прямой для всех исследуемых растворов используя графическую зависимость, экспериментальные данные обрабатывались в виде следующей функциональной зависимости:

$$(a_{P,T}/a_{P_1,T_1})_1 = -6{,}52\cdot10^{-6}T^2 + 5{,}72\cdot10^{-3}T - 4{,}71\cdot10^{-2}. \qquad (5)$$

Из уравнений (4), (5) и (3) получим:

$$a_{P,T} = \left\{-0{,}033\left(\frac{P}{P_1}\right)^2 + 0{,}17\left(\frac{P}{P_1}\right) + 0{,}85\right\}\times$$
$$\times\left[-6{,}52\cdot10^{-6}T^2 + 5{,}72\cdot10^{-3}T - 4{,}7\cdot10^{-2}\right]\times$$
$$\times\left(1{,}29\cdot10^{12}n_{H_2O}^2 - 1{,}26\cdot10^{-11}n_{H_2O} + 1{,}56\cdot10^{-7}\right),\ \text{м}^2/\text{с}. \qquad (6)$$

С помощью уравнения (6) можно вычислить температуропроводность гидразинзамещенных растворов при различных температурах и давлениях.

Уравнения (6) в основном с погрешностью 1,5…5% описывают температуропроводность гидразинзамещенных водных растворов в интервале температур 293…553 К и давлений (0,101…49,1) МПа. Для отдельных точек погрешность формул (6) доходит до 5%.

Формула (6) не содержит величин, требующих дополнительного экспериментального определения, и для вычисления температуропроводности исследуемых растворов в зависимости от температуры и давления надо знать значения мольной концентрации воды, температуры опыта и давления.

При обработке экспериментальных данных для расчета температуропроводности гидразинзамещенных водных растворов при различных температурах и давлениях получили следующие аппроксимационные зависимости:

– для водных растворов аэрозина [2]

$$a_{P,T} = \left\{ -5{,}13 \cdot 10^{-9} \left[\frac{P}{T(1{,}45 \cdot 10^{-7} P - 0{,}025)} \right]^2 + \right.$$

$$\left. + 1{,}86 \cdot 10^{-4} \left[\frac{P}{T(1{,}45 \cdot 10^{-7} P - 0{,}025)} \right] - 0{,}68 \right\} \times$$

$$\times (4{,}76 \cdot 10^{-9} P + 0{,}86)(4{,}73 \cdot 10^{-5} n_{H_2O}^2 - 6{,}75 \cdot 10^{-3} n_{H_2O} + 1{,}45) \times$$

$$\times (-9{,}26 \cdot 10^{-12} n_{C_2H_{12}N_4}^2 + 8{,}63 \cdot 10^{-10} n_{C_2H_{12}N_4} + 1{,}39 \cdot 10^{-7}), \quad \text{м}^2/\text{с}; \qquad (7)$$

– для водных растворов димелтигидразина [1]

$$a_{P,T} = \left\{ -5{,}84 \cdot 10^{-10} \left[\frac{P}{T(1{,}45 \cdot 10^{-7} P - 0{,}025)} \right]^2 + 9{,}91 \cdot 10^{-4} \times \right.$$

$$\left. \times \left[\frac{P}{T(1{,}45 \cdot 10^{-7} P - 0{,}025)} \right] + 1{,}15 \right\} \times$$

$$(3{,}06 \cdot 10^{-17} P^2 + 4{,}99 \cdot 10^{-9} P + 0{,}88) \times$$

$$\times (-1{,}51 \cdot 10^{-4} n_{H_2O}^2 + 1{,}48 \cdot 10^{-2} n_{H_2O} + 1{,}17) \times$$

$$\times (-8{,}19 \cdot 10^{-13} n_{C_2H_8N_2}^2 - 3{,}61 \cdot 10^{-10} n_{C_2H_8N_2} + 1{,}24 \cdot 10^{-7}), \text{ м}^2/\text{с}. \quad (8)$$

По уравнениям (7), (8) можно вычислить температуропроводность водных растворов аэрозина и диметилгидразина в интервале температур 293…553 К и давлений до 49,05 МПа.

Список литературы

1. Сафаров, М. М. Расчет теплопроводности электролитов в зависимости от концентрации растворителя при атмосферном давлении / М. М. Сафаров, М. А. Зарипова // Науч.-практ. конф. 28 – 30 октября 1993. – Душанбе. – С. 72.

2. Тургунбаев, М. Т. Теплопроводность гидразинзамещенных водных растворов в зависимости от температуры и давления / М. М. Сафаров, М. Т. Тургунбаев, М. А. Зарипова // Матер. науч.-практ. конф., посвященной 10-летию Независимости РТ. – 2001. – С. 34–35.

EXPERIMENTAL DATA ON THE THERMAL DIFFUSIVITY OF HYDRAZINE-SUBSTITUTED AQUEOUS SOLUTIONS AT HIGH STATE PARAMETERS

M. T. Turgunbaev[1], M. M. Safarov[2], M. A. Zaripova[3], Kh. Kh. Oimatova[1], Z. K. Khusainov[1], Sh. R. Safarov[1], K. Muhammadali[1]

[1]Kurgan-Tyube State University named after Nosir Khusraw, Kurgan-Tube, Tajikistan

[2]Branch of Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Dushanbe, Tajikistan

[3]Tajik Technical University named after Akad. M. S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan

Abstract. The article describes the measurements of the thermal conductivity of hydrazine-substituted aqueous solutions at high temperatures and pressures used in the processing of experimental data to calculate the thermal diffusivity of hydrazine-substituted aqueous solutions at different temperatures and pressures. The following approximation dependences were obtained.

Keywords: thermal conductivity, aerosol, temperature, pressure, density.

С. В. Пономарев, С. В. Мищенко

ИСТОРИЯ ВСЕСОЮЗНЫХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ШКОЛ

Первая Всесоюзная теплофизическая школа была проведена в июле 1971 г. Инициаторами проведения первой Всесоюзной теплофизической школы были:

1. Лыков Алексей Васильевич – в то время президент Академии наук Белорусской ССР, академик, доктор наук, профессор, который в течение значительного промежутка времени работал заведующим кафедрой физики Московского института химического машиностроения (МИХМа). Вернувшийся с фронта Кулаков Михаил Васильевич обучался на старших курсах этого вуза, а затем под руководством будущего академика А. В. Лыкова выполнял научно-исследовательскую работу в области теплофизических измерений. В конце пятидесятых годов в аспирантуру к М. В. Кулакову поступил Власов Валентин Викторович, который также занимался научными исследованиями в области автоматизации теплофизических измерений. Таким образом, научная школа в области теплофизических измерений связана с именем академика А. В. Лыкова.

2. Дульнев Геннадий Николаевич – доктор технических наук, профессор, в то время заведующий кафедрой теплофизики Ленинградского института точной механики и оптики (ЛИТМО), являвшийся учеником профессора Г. М. Кондратьева – автора книг по применению методов регулярных режимов в теплофизических измерениях.

3. Власов Валентин Викторович – в то время кандидат технических наук, доцент ректор Тамбовского института химического машиностроения (ТИХМа), заведующий кафедрой автоматизации химических производств (АХП).

Во время научного семинара в начале июня 1971 года Валентин Викторович сообщил нам – студентам Тамбовского института химического машиностроения, что в июле под Моршанском будет проходить теплофизическая школа, предложил приехать туда и послушать лекции ведущих ученых-теплофизиков Советского Союза. При этом он добавил, что студентам придется помогать на кухне, чистить картошку и выполнять другие работы, но будет возможность посещать лекции.

Жить можно будет в палатках, так как в июле в Тамбовской области обычно бывает хорошая погода.

Участников первой Всесоюзной теплофизической школы (ВТФШ-1) встречали на железнодорожном вокзале, на автовокзале и в аэропорту города Тамбова. Пленарное заседание было проведено в Доме политического просвещения (в здании с колоннами на улице Державинской, сейчас в нем размещается Тамбовский областной краеведческий музей). После завершения пленарного заседания, все участники переехали в пансионат Моршанской суконной фабрики, расположенный близи села Карели примерно в 10 километрах в сторону Шацка за Моршанском.

На второй день вечером был организован круглый стол, целью которого было предоставить возможность лекторам и участникам ВТФШ-1, приехавшим из различных республик и городов бывшего Советского Союза, быстрее познакомиться друг с другом в неформальной обстановке.

В этот момент из Моршанска прибыл автобус и члены коллектива художественной самодеятельности стали устанавливать микрофон, подключать усилитель и колонки, доставать музыкальные инструменты, короче говоря, готовились к концерту. «Школьники» (успевшие оценить высокий уровень приема и гостеприимства, которые им были оказаны – дефицитные в то время пиво, вобла, болгарское вино, продукты в буфете, красная рыба и осетрина в столовой) стали хлопать прибывшим участникам художественной самодеятельности еще до начала первого выступления.

В дальнейшем круглый стол и концерт проходили очень успешно, участники художественной самодеятельности великолепно пели и танцевали, а «школьники» искренне и от всей души им аплодировали.

Во время работы теплофизической школы все слушатели и мы (студенты) старались посещать все лекции. Скажем честно, мы в то время не все понимали, о чем рассказывали лекторы, но этот первый в жизни опыт общения с выдающимися учеными-теплофизиками (пусть только в качестве слушателей лекций) несомненно был очень полезен.

Вторая (ВТФШ-2) и третья (ВТФШ-3) всесоюзные теплофизические школы проходили в 1973 и 1975 гг. в летнее время в том же пансионате Моршанской суконной фабрики.

Вскоре после этого из-за конфликта с руководством Тамбовского Обкома КПСС Власов Валентин Викторович был вынужден уехать из Тамбова. Позже он рассказывал, что Министерство высшего и средне-

го специального образования Российской Советской Федеративной Социалистической Республики (МВиССО РСФСР) планировало назначить его в Москву на должность руководителя главка. Однако первый секретарь Тамбовского Обкома КПСС (в то время член ЦК КПСС) по партийной линии не позволил руководителям МВиССО РСФСР осуществить запланированное. В результате этого после перевода в Москву В. В. Власов был назначен на должность декана факультета повышения квалификации преподавателей и специалистов в МИХМ.

Валентину Викторовичу, теплофизику-экспериментатору, кроме стола, стула, бумаги и авторучки, необходимо была материальная база в виде теплофизических устройств, электроизмерительных приборов. Поэтому его переезд из Тамбова в Москву прошел не совсем безболезненно. Власов В. В. продолжал руководить работой аспирантов А. С. Лабовской, В. Н. Зотова, С. В. Пономарева, А. К. Панькова, В. Е. Подольского, В. Г. Серегиной, Н. П. Федорова, А. А. Чурикова. Однако он находился в Москве на значительном расстоянии от созданной им в течение десяти лет материально-технической базы и от своих аспирантов, проводивших под его руководством экспериментальные исследования в Тамбове. Валентин Викторович трагически погиб в августе 1982 года.

В 1977 – 1983 годах последующие всесоюзные теплофизические школы (ВТФШ-4 – ВТФШ-8) проходили в Одессе, Алма-Ате и других городах.

В конце декабря 1985 г. ректором Тамбовского института химического машиностроения был назначен С. В. Мищенко – бывший аспирант и ученик В. В. Власова. Мищенко С. В. защищал диссертацию доктора технических наук, которая была посвящена разработке автоматизированных систем научных исследований процессов тепло- и массопереноса.

По инициативе С. В. Мищенко научной общественностью бывшего Советского Союза было принято решение возобновить проведение всесоюзных теплофизических школ на базе ТИХМа в городе Тамбове.

Оргкомитет очередной ВТФШ-9 возглавил С. В. Мищенко, а в состав оргкомитета вошли: академик А. Г. Шашков (г. Минск), профессор Г. Н. Дульнев (г. Ленинград), академик В. П. Скрипов (г. Свердловск), профессор Н. Д. Косов (г. Алма-Ата), профессор В. Е. Зиновьев (г. Екатеринбург), профессор З. П. Шульман (г. Минск) и другие видные ученые-теплофизики бывшего Советского Союза. На этом этапе проведения теплофизических школ С. В. Пономареву было поручено выполнять обязанности Ученого секретаря оргкомитета ВТФШ-9.

Очередная девятая Всесоюзная теплофизическая школа (ВТФШ-9) была проведена на базе ТИХМа в конце мая 1988 г. в гостинице «Турист» в пригородном лесу г. Тамбова. Для участия в МТФШ-9 приехали более двадцати известных ученых-теплофизиков, а общее количество участников, включая аспирантов и студентов, превышало сто человек. Пленарные заседания проходили в Тамбовской областной библиотеке им. А. С. Пушкина. Во время работы ВТФШ-9 «школьникам» была предоставлена возможность послушать пленарные доклады, лекции знаменитых ученых-теплофизиков, а также были заслушаны краткие доклады молодых ученых и обсуждены стендовые сообщения соискателей, аспирантов и студентов, являвшихся слушателями ВТФШ-9.

После окончания официальной части – заслушивания и обсуждения пленарных выступлений, лекций, докладов и стендовых сообщений – молодые ученые (во время проведения этой и последующих ВТФШ, а в дальнейшем и международных теплофизических школ) имели возможность встретиться с ведущими учеными и обсудить с ними свои планы выполнения научно-исследовательских и диссертационных работ. В течение двух-трех вечеров обычно проводились так называемые круглые столы с участием академика А. Г. Шашкова, профессора Б. А. Арутюнова, профессора Г. Н. Дульнева, профессора В. Е. Зиновьева, профессора Л. А. Коздобы, профессора Н. Д. Косова, профессора Л. П. Филиппова, профессора З. П. Шульмана и др.

В ряде случаев по вечерам, наряду с обсуждением научных проблем, ученые старшего поколения вспоминали свою молодость и рассказывали о том, как они выполняли научные исследования под руководством своих руководителей из еще более старшего поколения ученых-теплофизиков.

Начиная с 1992 года теплофизические школы в городе Тамбове приобрели статус международных теплофизических школ, так как после распада Советского Союза бывшие советские республики стали независимыми государствами. Кроме того, впервые в работе школ приняли участие известные ученые из стран дальнего зарубежья, в частности, профессор Нью-Йоркского университета Thomas F. Irvine из США (позже совместно с ним в Нью-Йорском издательстве BegellHouse, Inc была опубликована монография S. V. Ponomarev, S. V. Mishchenko, Th. F. Irvine Jr. Thermophysical Properties Measurements by Laminar Flow Methods).

Седьмая Международная теплофизическая школа была проведена в г. Тамбове в 2010 г.

Восьмая, девятая и десятая международные теплофизические школы (после ухода профессора С. В. Мищенко с должности ректора ТГТУ) были проведены в 2012, 2014 и 2016 гг. в городе Душанбе – столице Республики Таджикистан. Сопредседателями оргкомитета были ректор Таджикского технического университета профессор А. А. Абдурасулов и профессор С. В. Мищенко, заместителями председателя – профессор М. М. Сафаров, профессор Ю. Ф. Гортышов и профессор С. В. Пономарев, Учеными секретарями – доцент М. А. Зарипова и доцент ТГТУ П. В. Балабанов.

С 6 по 9 ноября 2018 года очередная одиннадцатая Международная теплофизическая школа (МТФШ-11) вновь проводится в городе Тамбове в Тамбовском государственном техническом университете.

Научное издание

ОДИННАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ ШКОЛА

ИНФОРМАЦИОННО-СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ В ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В 2-х томах
Том II

Сборник научных статей

Инженеры по компьютерному макетированию:
И. В. Евсеева, Т. Ю. Зотова, М. Н. Рыжкова
Редакторы: Е. С. Мордасова, И. В. Калистратова, Л. В. Комбарова

Подписано в печать 26.10.2018.
Усл.-печ. л. 16,97. Тираж 400 экз. (1-й з-д 60). Заказ № 261

ISBN 978-5-8265-1958-5

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.
Телефон (4752) 63-81-08, 63-81-33.
E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru

Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392008, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112А
Телефон (4752) 63-07-46
E-mail: tipo_tstu68@mail.ru