

# АЛГОРИТМЫ КЛАССИФИКАЦИИ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ИССЛЕДУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Д.Ю. Муромцев<sup>1</sup>, З.М. Селиванова<sup>1</sup>, Д.С. Куренков<sup>1</sup>, В.И. Павлов<sup>1</sup>, П.С. Беляев<sup>1</sup>,  
О.В. Трапезникова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

<sup>2</sup> Омский государственный технический университет, г. Омск

Качество теплоизоляционных материалов, которые выпускаются на производственных предприятиях, зависит от их теплофизических свойств и ряда влияющих факторов. В связи с этим, актуальной проблемой является обеспечение точного и оперативного неразрушающего контроля параметров теплофизических свойств выпускаемой продукции в условиях неопределенности измерительной ситуации. Предлагается решение проблемы на основе использования интеллектуальной информационно-измерительной системы для определения теплофизических свойств теплоизоляционных материалов. Цель исследования - повышение точности и оперативности неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов в процессе их производства и эксплуатации для сохранения свойств теплоизоляции при влиянии дестабилизирующих факторов. Для достижения поставленной цели в интеллектуальной системе применяются методы искусственного интеллекта при принятии решений в нечеткой среде. Для проведения теплофизических измерений с адаптацией к классу исследуемых материалов по теплопроводности решены задачи и представлены алгоритмы классификации объектов исследования, выбора метода неразрушающего контроля теплофизических свойств согласно классу материалов по теплопроводности. Разработан алгоритм распознавания образов в соответствии с категорией получаемой измерительной информации при теплофизических измерениях: нечеткой или достоверной. Повышение точности и оперативности определения теплофизических свойств теплоизоляционных материалов обосновано результатами проведенных экспериментов с использованием интеллектуальной информационно-измерительной системы.

*Ключевые слова:* классификация исследуемых объектов, распознавание образов, нечеткие множества, интеллектуальная информационно-измерительная система, теплофизические свойства.

## ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения качества изготавливаемых на производстве материалов применяются различные методы оперативного неразрушающего контроля параметров теплофизических свойств (ТФС) исследуемых объектов – коэффициентов тепло - и температуропроводности ( $\lambda$  и  $\alpha$ ) [1-4]. Контроль ТФС материалов проводится на стадиях технологических процессов при их изготовлении и проверяется соответствие параметров ТФС выходной продукции нормируемым значениям. При выборе тепловой изоляции зданий и сооружений, а также в процессе эксплуатации объектов необходимо контролировать теплофизические свойства применяемых теплоизоляционных материалов, так как на теплозащитное покрытие оказывают негативное влияние внешние дестабилизирующие факторы (ДФ).

Важным этапом при определении теплофизических свойств исследуемых материалов (ИМ) в интеллектуальных информационно-измерительных системах (ИИИС) [5] является классификация объектов исследования. В результате

классификации исследуемых материалов определяется класс исследуемого материала по доминирующему признаку ТФС материалов – теплопроводности. Согласно результатам классификации реализуются интеллектуальные процедуры распознавания образов и выбор соответствующего метода неразрушающего контроля ТФС материалов, а также определяется измерительная ситуация для каждого класса исследуемых материалов. При проведении теплофизических измерений формирование измерительной ситуации заключается в выборе одного из применяемых методов и оптимальных режимных параметров измерения ТФС материалов (мощность теплового воздействия, число и длительность воздействующих тепловых импульсов на исследуемый объект). Результаты классификации оцениваются функциями потерь и вероятности неправильной классификации.

ИИИС с использованием методов искусственного интеллекта рассмотрены в работах известных зарубежных ученых, основоположников интеллектуальных измерений, систем интеллектуального окружения и интеллектуальных сред (Ambient Intelligence & Smart Environments) -

Hofmann D, TarbeyeV Y.V. [6], D.F. Lugers [7]. В статье Laghi, L., Pennechi, F. и Raiteri, G. приводится описание информационно-измерительной системы UnithermTM 2022 [8]. В работах российских учёных В.Н. Романова, В.С. Соболева, В.И. Цветкова, Раннева Г.Г. изложены вопросы создания интеллектуальных средств измерений [9]. Анализ работ показывает, что представленные ИИИС имеют недостаточно высокое быстродействие и значительную погрешность измерений исследуемых параметров, обусловленную воздействием дестабилизирующих факторов.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Разработать алгоритмическое обеспечение решения задач классификации, распознавания образов и выбора метода неразрушающего контроля теплофизических свойств исследуемых объектов для повышения точности контроля ТФС материалов [10].

Выполнить классификацию параметров и свойств, характеризующих ИМ и влияющих на теплофизическое измерение. Для определённых измерительных ситуаций определить пределы, меры близости и существующие связи параметров и свойств исследуемых материалов. Оценить функцию потерь и вероятность неверной классификации. Распознавание образов осуществить на основе интеллектуальных процедур принятия решения в зависимости от степени достоверности получаемой информации: или рассчитывать евклидово расстояние или применить теорию нечетких множеств.

Создать интеллектуальные процедуры принятия решений по выбору метода контроля при проведении теплофизических измерений, соответствующему определённой измерительной ситуации.

**ТЕОРИЯ**

Алгоритм классификации исследуемых материалов заключается в следующем. ИМ описываются с помощью критериев и параметров, которые учитываются в соответствующих формируемых множествах при формализованном описании исследуемых материалов. Сведения об исследуемых материалах задаются или априорно или с использованием экспериментальных данных, которые получают до проведения теплофизического измерения при выполнении тестовых измерительных экспериментов. Тестовые измерения позволяют предварительно оценить параметры теплофизических свойств и уточнить класс исследуемых материалов.

Для обработки полученной измерительной информации используются методы распознавания образов. В соответствии со степенью достоверности информации применяются два метода.

Метод 1. Применяется, если измерительная информация достоверна.

Для определения класса ИМ рассчитывается евклидово расстояние  $d(O_i, O_j)$  по следующей зависимости [11]

$$d(O_i, O_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^{\pi} v_k (\bar{d}_{ik} - \bar{d}_{jk})^2},$$

где  $v_k$  – весовые коэффициенты  $k$ -го показателя, которые определяются для  $i$ -го и  $j$ -го материала  $(O_i, O_j)$ . При задании показателя в виде интервального значения евклидово расстояние  $\bar{d}_{ik}(\bar{d}_{jk})$  определяется серединой интервала

$$\bar{d}_{ik} = 0,5(d_{ik}^H + d_{ik}^B),$$

здесь  $d_{ij}^H, d_{ij}^B$  – нижняя и верхняя границы интервального значения  $j$ -ой характеристики для  $i$ -го ИМ, соответственно.

Важность и размерность  $k$ -го параметра учитывает весовой коэффициент, вычисляемый по формулам

$$v_k = C_k \left( \frac{d_k^{\max} - d_k^{\min}}{2} \right)^{-2}, \quad k = \overline{1, \pi},$$

$$d_k^{\max} = \max_i \{ \bar{d}_{ik}, i = \overline{1, N} \},$$

$$d_k^{\min} = \min_i \{ \bar{d}_{ik}, i = \overline{1, N} \},$$

Выбор коэффициента  $C_k$  осуществляется из условий

$$\sum_{k=1}^{\pi} C_k = 1, \quad C_k \in (0;1) \text{ или } \forall k \in \{1, \pi\}, \quad C_k = 1.$$

Метод 2. Используется, если измерительная информация нечеткая. В данном случае применяется теория нечетких множеств, которые задаются на основе функций принадлежности.

На рис.1 и 2 в качестве примера приведены функции принадлежности параметров ТФС материалов различных классов (коэффициентов температуропроводности ( $\alpha$ ) и теплопроводности ( $\lambda$ )).

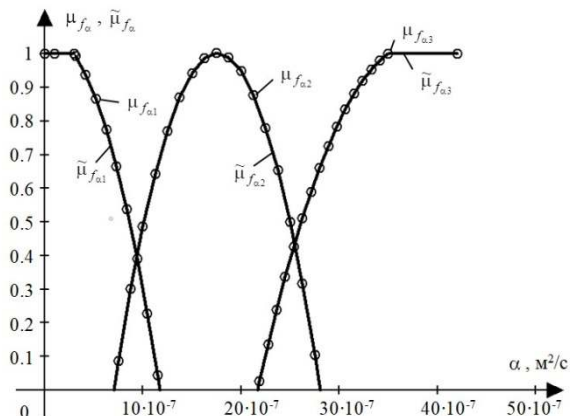


Рис. 1. Графические зависимости функций принадлежности нечетких множеств  $\mu_{f_{\alpha}}$

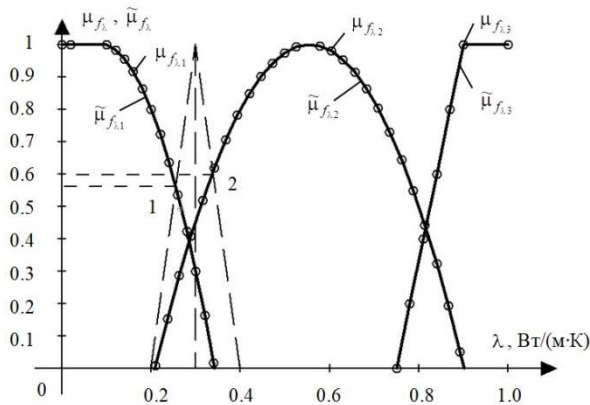


Рис. 2. Графические зависимости функций принадлежности нечетких множеств  $\mu_{f_{\lambda k}}$

Для коэффициента температуропроводности нечеткие множества  $\mu_{f_{\alpha s}}$ ,  $s = 1; 2; 3$  (рис.1) задаются функциями принадлежности, которые представлены в виде аналитических выражений (1)-(3):

$$\tilde{\mu}_{f_{\alpha 1}}(\alpha) = \begin{cases} 1, & \alpha \in [0; 3 \cdot 10^{-7}); \\ -0.008\alpha^2 + 0.008\alpha + 1.0, & \alpha \in [3 \cdot 10^{-7}; 12 \cdot 10^{-7}); \\ 0, & \alpha \geq 12 \cdot 10^{-7}; \end{cases} \quad (1)$$

$$\tilde{\mu}_{f_{\alpha 2}}(\alpha) = \begin{cases} 0, & \alpha \leq 7 \cdot 10^{-7}; \\ -0.009\alpha^2 + 0.318\alpha - 1.787, & \alpha \in [7 \cdot 10^{-7}; 28 \cdot 10^{-7}); \\ 0, & \alpha \geq 28 \cdot 10^{-7}; \end{cases} \quad (2)$$

$$\tilde{\mu}_{f_{\alpha 3}}(\alpha) = \begin{cases} 0, & \alpha \leq 22 \cdot 10^{-7}; \\ -0.004\alpha^2 + 0.313\alpha - 4.816, & \alpha \in [22 \cdot 10^{-7}; 34 \cdot 10^{-7}); \\ 0, & \alpha \geq 34 \cdot 10^{-7}; \end{cases} \quad (3)$$

Для коэффициента теплопроводности соответствующие функции принадлежности (рис.2) описываются зависимостями (4)-(6):

$$\tilde{\mu}_{f_{\lambda 1}}(\lambda) = \begin{cases} 1, & \lambda \in [0; 0.1]; \\ -15\lambda^2 + 2.5\lambda + 0.9, & \lambda \in [0.1; 0.35); \\ 0, & \lambda \geq 0.35; \end{cases} \quad (4)$$

$$\tilde{\mu}_{f_{\lambda 2}}(\lambda) = \begin{cases} 0, & \lambda \leq 0.21; \\ -8.333\lambda^2 + 9.25\lambda - 1.567, & \lambda \in [0.21; 0.9); \\ 0, & \lambda \geq 0.9; \end{cases} \quad (5)$$

$$\tilde{\mu}_{f_{\lambda 3}}(\lambda) = \begin{cases} 0, & \lambda < 0.75; \\ -6.667\lambda - 5, & \lambda \in [0.75; 0.9); \\ 1, & \lambda \geq 1. \end{cases} \quad (6)$$

Алгоритм выбора метода контроля ТФС ИМ выполняется с использованием функции принадлежности нечетких множеств на основе процедуры лингвистической аппроксимации и включает следующее:

1. Устанавливается доминирующий признак свойств ИМ  $q_d$ .

2. Пользователь задает диапазон предполагаемых значений  $q_d$ , т.е.  $[q_d^H, q_d^B]$  и степень принадлежности  $SP_{доп} = 0.1$ .

3. Выполняется построение функции принадлежности треугольной формы, используя границы классов и учитывая доминирующий признак как нечеткое множество.

$$\mu_f(q_d) = \begin{cases} 0, & (q_d < q_d^H) \cup (q_d \geq q_d^B); \\ \frac{q_d - q_d^H}{\Delta q_d}, & q_d \in (q_d^H, q_d^0); \\ \frac{q_d^B - q_d}{\Delta q_d}, & q_d \in (q_d^0, q_d^B). \end{cases} \quad (7)$$

4. Находятся точки пересечений  $\mu_f(q_d)$  с  $\mu_{f_s}(q_d)$ ,  $s = 1; 2; 3$  и степень принадлежности данных точек  $SP_1, SP_2$  исследуемых материалов к определенному классу.

5. Выбор соответствующего метода определения ТФС материалов выполняется по правилам:

ЕСЛИ  $|SP_1 - SP_2| > SP_{доп}$ , ТО применяется метод, который соответствует  $SP_{max}$ ;

ЕСЛИ  $|SP_1 - SP_2| < SP_{доп}$ , ТО рекомендуется применять два метода, соответствующие рядом находящимся классам.

В правилах введены обозначения:  $SP_{доп}$ ,  $SP_{max}$  – степени принадлежности, соответственно, допустимая и максимальная.

Рассмотрим алгоритм применения второго метода, который применяется в ИИИС ТФС материалов, функции принадлежности приведены в выражениях (4)-(6) и на рис. 2:  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, является доминирующим признаком; пользователем задаются предварительные нижняя  $\lambda^H$  и верхняя  $\lambda^B$  границы диапазона теплопроводности ИМ,  $\lambda^H = 0.2$  Вт/(м·К),  $\lambda^B = 0.4$  Вт/(м·К); для среднего значения коэффициента теплопроводности  $\lambda_{cp} = 0.3$  Вт/(м·К) определяется  $\mu_{max}$  (максимальное значение); с использованием (7) строится треугольная функция принадлежности  $\mu_\lambda$ ;

множество лингвистической переменной  $\lambda$  проверяется на соответствие формул принадлежности  $\mu_{\lambda_1}$ ,  $\mu_{\lambda_2}$  функциям принадлежности  $\mu_{f_{IM}}$ ; находятся степени принадлежности к 1 и 2 классам, которые равны 0.55 и 0.60, для точек пересечений 1 и 2 и функций принадлежности  $\mu_{f_{\lambda_1}}$  и  $\mu_{f_{\lambda_2}}$ ; при

$\mu_{f_{\lambda_2}} \approx \mu_{f_{\lambda_1}}$  исследуемый материал соответствует границе 1 и 2 классов. В этом случае ТФС контролируются двумя методами, которые определены для данных классов. Результаты измерений представляются в виде средних значений, полученных при использовании рекомендованных методов.

Когда отсутствуют функции принадлежности, кроме рассмотренного алгоритма выбора метода контроля ТФС ИМ, применяется алгоритм на основе производственных правил. В качестве примера приведены производственные правила:

ЕСЛИ  $V_{св}^i \equiv V_1$  и  $V_{тр}^i \in \{V_n, V_M\}$  и  $V_{ДФ}^n \equiv V_{ДФ}^n$  и  $V_{опр}^m \in \{V_{дет}, V_{неч}\}$ , ТО  $h_{i,j,n,m} \in H_1$  и  $V_M = V_{M1}$ ;

ЕСЛИ  $V_{св}^i \equiv V_2$  и  $V_{тр}^i \in V_{тр}$  и  $V_{ДФ}^n \in V_{ДФ}$  и  $V_{опр}^m \in \{V_{неопр}, V_{неч}\}$ , ТО  $h_{i,j,n,m} \in H_2$  и  $V_M = V_{M2}$ ;

ЕСЛИ  $V_{св}^i \equiv V_3$  и  $V_{тр}^i \in V_{тр}$  и  $V_{ДФ}^n \in V_{ДФ}$  и  $V_{опр}^m \in \{V_{неопр}, V_{неч}\}$ , ТО  $h_{i,j,n,m} \in H_3$  и  $V_M = V_{M3}$ ,

где  $H_1, H_2$  – подмножества, использующиеся, когда реализуется линейный или плоский нагреватель в измерительных зондах импульсных методов;  $H_3$  – подмножества, которые применяются, если используется в применяемом методе постоянный нагрев и плоский нагреватель;  $V_{св} = \{V_s^{св}, s=1, \dots, k_{св}\}$  – множество сведений о характеристиках ИМ (плотность, тепло- и температуропроводность и др.);  $V_{тр} = \{V_n^{тр}, V_M^{тр}, V_{Ф}^{тр}\}$  – множество требований к геометрическим размерам исследуемых материалов, здесь  $V_n^{тр}, V_M^{тр}$  – нормальные и малые размеры ИМ;  $V_{Ф}^{тр}$  – форма ИМ;  $V_{опр} = \{V_{дет}, V_{неопр}, V_{неч}\}$  – множество уровней определенности данных об исследуемом материале, где  $V_{дет}, V_{неопр}, V_{неч}$  – соответственно, детерминированная, неопределенная и нечеткая виды информации;  $V_{ДФ} = \{V_n^{ДФ}, V_{ср}^{ДФ}, V_{в}^{ДФ}\}$  – множество данных о влияющих ДФ, здесь  $V_n^{ДФ}, V_{ср}^{ДФ}, V_{в}^{ДФ}$  – соответственно, низкий, средний и высокий уровни ДФ;  $V_M = \{M_i, i=1, \dots, k_M\}$  – множество методов неразрушающего контроля, применяемые в ИИИС ТФС материалов, где  $M_i$  –  $i$ -ый метод контроля.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

Предложенные методы, применяемые при распознавании образов и выборе методов определения параметров ТФС ИМ (коэффициентов тепло - и температуропроводности) реализованы в интеллектуальной информационно-измерительной системе неразрушающего контроля ТФС материалов, успешно работающей на производстве по

изготовлению теплоизоляционных материалов. Результаты экспериментальных исследований ИИИС по определению коэффициентов тепло - и температуропроводности ( $\lambda$  и  $\alpha$ ) ИМ представлены в табл.1.

**Табл. 1. Результаты экспериментальных исследований ИИИС**

Исследуемые материалы	$\lambda$ и $\alpha$ справочные		$\lambda$ и $\alpha$ измеренные		Погрешности измерений	
	$\alpha \cdot 10^{-7}$ , м <sup>2</sup> /с	$\lambda$ , Вт/м·К	$\alpha \cdot 10^{-7}$ , м <sup>2</sup> /с	$\lambda$ , Вт/м·К	$\delta_\alpha$ , %	$\delta_\lambda$ , %
Пенопласт	5.12	0.034	5.33	0.035	4.10	2.94
Минвата	3.74	0.052	3.92	0.054	4.81	3.85
Войлок	3.98	0.07	4.15	0.073	4.27	4.28
Полиметилметакрилат	1.09	0.195	1.13	0.201	3.67	3.08

Анализ результатов экспериментальных исследований ИИИС ТФС материалов позволяет установить, что относительная погрешность измерений коэффициентов тепло - и температуропроводности ( $\delta_\alpha$  и  $\delta_\lambda$ ) составляет не более 5% и находится в допустимых для данного класса измерительных средств пределах, что свидетельствует о повышении точности ИИИС.

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Сформулирована и решена задача классификации исследуемых материалов, отличающаяся учётом условий эксплуатации ИМ, требований к точности результатов измерений.

Разработан алгоритм классификации исследуемых материалов, новым в котором является применение тестовых измерений для предварительной оценки класса ИМ и методов распознавания образов.

Алгоритмы выбора метода неразрушающего контроля ТФС ИМ отличаются использованием методики лингвистической аппроксимации или же производственных правил.

Алгоритмическое обеспечение решения поставленных задач обеспечивает повышение точности и оперативности определения ТФС материалов, так как перед проведением теплофизических измерений в ИИИС предварительно определяется класс ИМ, метод контроля и соответствующие режимные параметры. В результате пользователь получает оперативно достоверную и точную информацию о ТФС исследуемых материалов.

**ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Решение задачи классификации исследуемых теплоизоляционных материалов необходимо при проведении теплофизических измерений интеллектуальной информационно-измерительной системой в условиях неопределенности

измерительной ситуации, когда неизвестны теплопроводность объекта исследования и, соответственно, метод и алгоритм неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов. В этом случае в ИИИС выполняются интеллектуальные процедуры распознавания образов и идентификации измерительной ситуации на основе классификации исследуемых объектов.

Распознавание образов исследуемых материалов осуществляется в результате интеллектуальных процедур принятия решений в зависимости от уровня достоверности измерительной информации с использованием двух способов. Если информация достоверна, то выполняется расчет евклидова расстояния. Нечёткая измерительная информация предполагает применение математического аппарата теории нечетких множеств, задаваемых функциями принадлежности.

Разработаны интеллектуальные процедуры принятия решений при выборе метода неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов согласно идентификации измерительной ситуации с использованием продукционных правил и функций принадлежности нечетких множеств.

Решение задачи классификации исследуемых материалов, интеллектуальных процедур распознавания образов и выбора метода неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов в соответствии с измерительной ситуацией представлено на практическом примере.

Данные результатов экспериментальных исследований ИИИС при влиянии дестабилизирующих факторов позволяют установить, что применение разработанных алгоритмов классификации исследуемых материалов, распознавания образов и выбора метода неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов в интеллектуальной информационно-измерительной системе повышают оперативность и точность определения параметров ТФС теплоизоляционных материалов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Selivanova, Z.M., and T.A. Hoang, "Increasing the Accuracy of Data-Measuring Systems for the Nondestructive Testing of the Thermal Properties of Solids," *Measurement Techniques*, vol. 58, pp. 1010-1015, 2015.
2. Belyaev, V.P., S.V. Mischenko, and P.S. Belyaev, "Determination of the Diffusion Coefficient in Nondestructive Testing of Thin Articles of Anisotropic Porous Materials," *Measurement Techniques*, vol. 60, pp. 392-398, 2017.
3. Karavaev, I.S., et al, "The development of the data transfer protocol in the intelligent control systems of the energy carrier parameters," *IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus*, pp. 781-786, January 2018.
4. Shtern, Y.I., et al, "Development of the method of software temperature compensation for wireless temperature measuring electronic

instruments," *International Journal of Control Theory and Applications*, pp. 632-638, 2016.

5. Селиванова, З.М. Проектирование интеллектуальных информационно-измерительных систем неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов [Текст] / З.М. Селиванова, А.А. Самохвалов // Вестник ПГТУ. – 2010. – Т.16. – №2. – С. 273-283.

6. Hofmann, D., and Y.V. Tarbeyev, "Theoretical, physical and metrological problems of further development of measurement techniques and instrumentation in science and technology," *ACTA IMEKO*, vol. 3, no. 1, pp. 23-31, 2014.

7. Luger, D.F., *Artificial Intelligence: Strategies and Methods for Solving Complex Problems*. Moscow: Williams Publishing House, 2003.

8. Laghi, L., F. Pennechi, and G. Raiteri, "Uncertainty analysis of thermal conductivity measurements in materials for energy-efficient buildings International," *Journal of Metrology and Quality Engineering (IJMQE)*, vol. 2(2), pp. 141-151, 2011.

9. Раннев, Г.Г. Интеллектуальные средства измерений [Текст] / Г.Г. Раннев. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 272 с.

10. Selivanova, Z.M., and T.A. Hoang, "A Systematic Method of Improving the Accuracy of an Information and Measuring System for Determining the Thermophysical Properties of Materials Under the Effect of Destabilizing Factors," *Measurement Techniques*, vol. 60, pp. 473-480, 2017.

11. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики: учебник для вузов [Текст] / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 656 с.

Селиванова Зоя Михайловна – д.т.н., профессор, Тамбовский государственный технический университет, e-mail: selivanova@mail.jesby.tstu.ru.

Куренков Дмитрий Сергеевич – магистрант, Тамбовский государственный технический университет, e-mail: md.dmit@yandex.ru.

Павлов Владимир Иванович – д.т.н., профессор, Тамбовский государственный технический университета, e-mail: vpavl@mail.ru

Беляев Павел Серафимович – д.т.н., профессор, Тамбовский государственный технический университет, e-mail: bps800@yandex.ru.

Трапезникова Ольга Валерьевна – старший преподаватель, Омский государственный технический университет, e-mail: ol-trapeznikova@yandex.ru.

# SUBSUMPTION AND IMAGES RECOGNITION ALGORITHMS OF THE ANALYSED MATERIALS IN THE INTELLECTUAL DATA-MEASURING SYSTEM

D.Yu. Muromtsev<sup>1</sup>, Z.M. Selivanova<sup>1</sup>, D.S. Kurenkov<sup>1</sup>, V.I. Pavlov<sup>1</sup>, P.S. Belyaev<sup>1</sup>,  
O.V. Trapeznikova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tambov State Technical University, Tambov

<sup>2</sup> Omsk State Technical University, Omsk

Abstract – Providing that the commercially produced thermal insulation materials quality depends on their thermophysical properties as well as a number of influencing factors, an actual problem is both accurate and operational non-destructive testing provision of the thermophysical properties parameters at the measurement uncertainty conditions. The problem solution based on the intelligent data-measuring system application aimed to insulation materials thermal properties determination is proposed. The study is targeted to both the accuracy and efficiency testing increasing of the thermophysical materials properties at their production and operation in order to preserve the thermal insulation properties under the destabilizing factors influence. In the research context the artificial intelligence methods were applied at the decisions making in a fuzzy environment. Aimed to thermophysical measurements adaptation to the materials class as well as the next non-destructive testing method selecting both the problems and objects classifying algorithms at the thermal conductivity analysis were solved. The pattern recognition algorithm was developed in accordance with the category of received measurement information (fuzzy or reliable) at the thermophysical measurements. The developed algorithm accuracy and efficiency is experimentally proved.

Index terms: objects classification, pattern recognition, fuzzy sets, intelligent data-measuring system, thermophysical properties.

## REFERENCES

1. Selivanova Z M, and Hoang T A 2015 *Measurement Techniques* **58** 1010-1015
2. Belyaev V P., Mischenko S V, and Belyaev P S, 2017 *Measurement Techniques* **60** 392-398
3. Karavaev I S, et al, 2018 *IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus* 781-786
4. Shtern Y I., et al, 2016 *International Journal of Control Theory and Applications* 632-638
5. Selivanova Z M, Samokhvalov A A, 2010 *Bulletin of TSTU* **16**(2) 273-283
6. Hofmann D, and Tarbeyev Y V, 2014 *ACTA IMEKO* **3**(1) 23-31
7. Luger D F, *Artificial Intelligence: Strategies and Methods for Solving Complex Problems*. Moscow: Williams Publishing House, 2003
8. Laghi L, Pennecci F, and Raiteri G, 2011 *Journal of Metrology and Quality Engineering (IJMQE)* **2**(2) 141-151
9. Rannev G G, *Intelligent measuring instruments*. Moscow: Publishing Center "Academy", 2011
10. Selivanova Z M, and Hoang T A, 2017 *Measurement Techniques* **60** 473-480
11. Ayvazyan S A, Mkhitarian V S, *Applied statistics. Fundamentals of Econometrics: a textbook for high schools*. Moscow: UNITY-DANA , 2001

Selivanova Zoya Mihajlovna – Doctor of Technical Sciences, professor, Tambov State Technical University, e-mail: selivanova@mail.jesby.tstu.ru.

Kurenkov Dmitrij Sergeevich – undergraduate, Tambov State Technical University, e-mail: md.dmit@yandex.ru.

Pavlov Vladimir Ivanovich – Doctor of engineering, professor, Tambov State Technical University, e-mail: vpavl@mail.ru

Belyaev Pavel Serafimovich – Doctor of Technical Sciences, professor, Tambov State Technical University, e-mail: bps800@yandex.ru.

Trapeznikova Olga Valer'vna – Senior Lecturer, Omsk State Technical University, e-mail: ol-trapeznikova@yandex.ru.