

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ**

К.С. Стасенко, З.М. Селиванова

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический
университет», г. Тамбов*

Рецензент д-р техн. наук, профессор Т.И. Чернышова

Ключевые слова и фразы: информационно-измерительная система; теплоизоляционные материалы; теплопроводность; технология производства минеральной ваты.

Аннотация: Выполнена постановка задачи достижения заданной точности и качества при определении теплопроводности минераловатных плит. Предложены аналитическая модель, устанавливающая зависимость выходных параметров точности при контроле теплопроводности теплоизоляционных материалов от входных параметров (материала, оборудования, информационно-измерительной системы), и алгоритм решения задачи обеспечения точности контроля теплопроводности и качества исследуемых материалов.

Теплопроводность является одним из основных свойств, от которого зависит качество теплоизоляционных материалов. Эффективным направлением достижения заданной точности измерения теплопроводности λ является применение интеллектуальной информационно-измерительной системы (ИИИС) для измерения контролируемых параметров и управления технологическим процессом при изготовлении теплоизоляционных материалов. Точность определения теплопроводности λ минераловатных плит ($\lambda = 0,033 \dots 0,037$ Вт/(м·К)) в узком диапазоне связана с большими трудностями, так как необходимо обеспечить высокий метрологический

Стасенко Константин Сергеевич – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»; Селиванова Зоя Михайловна – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», e-mail: selivanova@mail.jesby.tstu.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов.

уровень ИИИС, точность технологического процесса изготовления теплоизоляционных материалов, коррекцию воздействия дестабилизирующих факторов на ИИИС и технологический процесс, которые вносят погрешности в результат измерения λ .

В общем виде задача достижения заданной точности при контроле λ сформулирована следующим образом:

1) необходимо обеспечить заданную точность определения λ минераловатных плит в пределах 3...5 %;

2) для достижения заданной точности следует провести анализ погрешностей при определении λ исследуемых теплоизоляционных материалов;

3) выполнить анализ погрешностей измерений λ ИИИС при воздействии дестабилизирующих факторов;

4) обеспечить требуемое качество производимых минераловатных плит, которое определяется комплексом их параметров и свойств в соответствии с требованиями соответствующего ГОСТа на выпускаемую продукцию, на основе оптимизации управляемых параметров технологического процесса изготовления материалов при воздействии дестабилизирующих факторов;

5) провести анализ влияния дестабилизирующих факторов на результат определения λ ИИИС;

6) разработать аналитическую модель зависимости выходных параметров точности при определении λ от входных параметров исследуемых материалов, ИИИС, управляемых параметров технологического процесса;

7) разработать алгоритм решения задачи достижения заданной точности λ с относительной погрешностью измерения не более 5 %.

Для обеспечения точности λ необходимо учитывать погрешности ИИИС и ее составных частей, которые проявляются при контроле λ и параметров технологического процесса. Основным блоком ИИИС, который вносит большую составляющую в погрешность измерения, является усилитель сигналов измерительных датчиков, в котором определена нестабильность выходного напряжения при изменении температуры окружающей среды. Для устранения данной составляющей погрешности предлагается схема термостабилизации усилителя и программная дополнительная коррекция результатов измерения λ .

Проведенный анализ результатов экспериментальных исследований теплоизоляционных материалов в нашей лаборатории и выполненных институтом КРИП (Франция) [1] позволяет сделать следующие выводы.

1. Качественные показатели теплоизоляционных материалов, выпускаемых различными производителями, изменяются в широком диапазоне. Теплопроводность и проницаемость теплоизоляционных материалов при прочих равных условиях зависят от качества волокна, а именно, среднего диаметра волокна и наличия неволоконистых включений.

2. Теплофизические и физико-механические свойства теплоизоляционных материалов зависят от сложного комплекса факторов, включаю-

щих: вид исходного сырья, технологию получения волокна, диаметр и длину волокон, их химический и фазовый состав, структуру материала, качество связующего компонента.

3. Снижение диаметра волокна в теплоизоляционных изделиях и повышение степени однородности волокон по диаметру, при прочих равных условиях, приводит к снижению их коэффициента теплопроводности и, соответственно, к повышению энергоэффективности конструкций с их применением.

Технология производства минваты заключается в следующем [2]. При подборе сырьевых компонентов задаются главные потребительские свойства минеральной ваты. Основное сырье – горные породы габбробазальтового типа и их аналоги. Здесь важно точное соблюдение пропорций, химического, фракционного состава и влажности сырья. Производство качественных минераловатных утеплителей невозможно без многоуровневой подготовки сырья. Исходные компоненты обрабатываются до получения нужного минерального, фракционного состава, влажности и подаются в плавильный агрегат. Плавка компонентов происходит в печах при температуре 1500 °С, компьютерный контроль десятков параметров формирует расплав нужного химического состава и вязкости. Плавка происходит в ванной печи или коксовой вагранке. Получение волокна осуществляется на многовалковой центрифуге со скоростью вращения валков до 7000 об/мин. Полученное волокно осаждается в камере барабанного типа и обрабатывается водоотталкивающими и обеспыливающими добавками.

Таким образом, управляемыми параметрами на стадии подготовки сырья при производстве минват являются: концентрация исходных компонентов, влажность, фракционный и химический составы сырья. Неуправляемые параметры – температура и влажность окружающей среды.

Функциональную зависимость выходных параметров точности при контроле λ , определяющих качество выпускаемых теплоизоляционных материалов, предлагается представить аналитической моделью

$$Y_n = f(X_i, \delta_T, Q_j, D_m, V_{\text{ИИИС}}),$$

где Y_n – выходные параметры точности при контроле теплопроводности теплоизоляционных материалов; n – количество Y ; X_i – входные параметры исследуемых материалов, исходного сырья, технологического оборудования ИИИС; i – количество X ; $\delta_T = \{S_b, b = 1, \dots, k\}$ – требования к точности определения теплопроводности теплоизоляционных материалов, S_b – виды требований точности, k – число требований; Q_j – управляемые параметры технологического процесса изготовления материалов; D_m – неуправляемые параметры технологического процесса, имеющие случайный характер, m – количество параметров; $V_{\text{ИИИС}}$ – параметры, определяющие метрологический уровень ИИИС.

К выходным параметрам, которые оценивают точность определения теплопроводности, относятся погрешность измерения и потери точности и

оперативности при контроле теплопроводности. К неуправляемым параметрам относятся воздействующие дестабилизирующие факторы на ИИИС и технологический процесс производства материалов.

Проведены экспериментальные исследования теплоизоляционных материалов с помощью ИИИС. На рисунке 1 представлены термограммы теплоизоляционных материалов с различными значениями λ : рипора, пенопласта, минераловатной плиты, войлока, линолеума, полиметилметакрилата (ПММ), теплопроводность которых определяется с использованием ИИИС при мощности теплового воздействия с измерительного зонда 2,5 Вт [3]. Термограммы, приведенные на рис. 1 при различных значениях температуропроводности a , аналогичны.

Анализ приведенных термограмм показывает, что время $\tau_{уст}$ достижения установившегося теплового режима в области контакта измерительного зонда и исследуемого материала существенно зависит от теплопроводности исследуемых материалов и тем больше, чем меньше теплопроводность материала. Отсюда следует, что при работе с исследуемыми материалами данного класса нецелесообразно в ИИИС задавать одно фиксированное время, например, для рипора $\tau_{уст,р} = 140$ с (это соответствует подаче N_p тепловых импульсов). Зависимость $\tau_{уст}$ от теплопроводности приведена на рис. 2.

Данные обстоятельства учитываются в разработанной ИИИС для повышения оперативности контроля при обеспечении требуемой точности результатов.

Потери точности и оперативности ИИИС неразрушающего контроля теплопроводности теплоизоляционных материалов в результате нерацио-

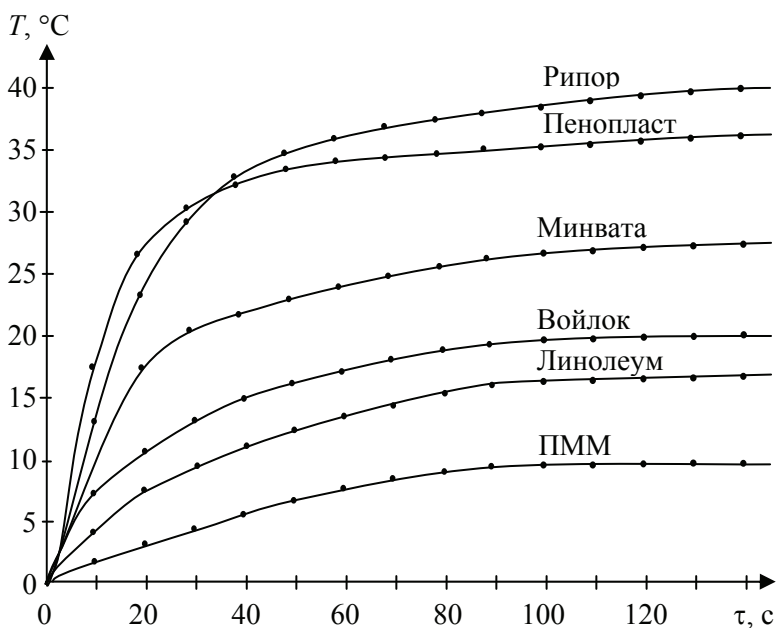


Рис. 1. Термограммы исследуемых теплоизоляционных материалов

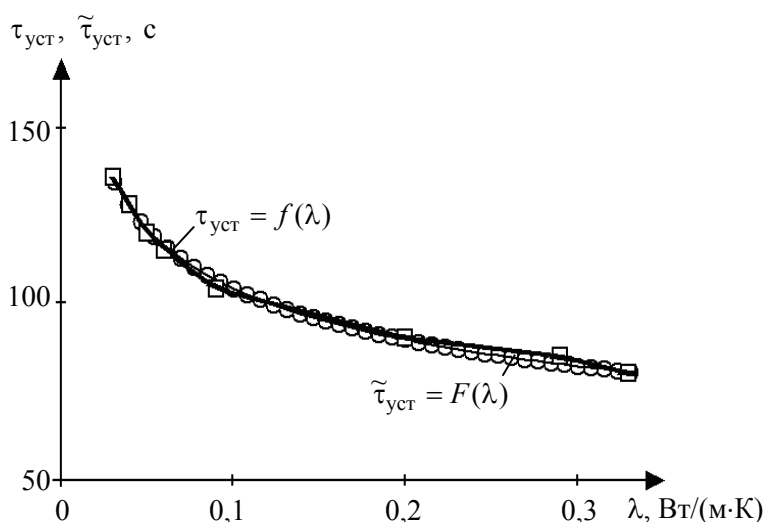


Рис. 2. Зависимость времени достижения установившегося теплового режима от теплопроводности исследуемого материала, $\tau_{уст} = f(\lambda)$ и аппроксимирующая функция $\tilde{\tau}_{уст} = F(\lambda) = 63,17\lambda^{-0,217}$

нального выбора времени достижения установившегося теплового режима могут быть оценены с помощью показателей точности Π_T и оперативности $\Pi_{оп}$. В качестве показателя Π_T будем использовать погрешность измерений, а показателем $\Pi_{оп}$ будет служить время измерения λ . Функциональные зависимости этих потерь от $\tau_{уст}$ должны учитывать применяемый метод контроля λ материалов и влияние дестабилизирующих факторов, то есть

$$\Pi_T = f_T(\tau_{уст}, M, O, D), \quad \Pi_{оп} = f_{оп}(\tau_{уст}, M), \quad (1)$$

где M – множество используемых в ИИИС методов контроля λ ; O – множество исследуемых материалов; D – множество детализирующих факторов, которые введены в базу знаний ИИИС.

Графическое представление вышеуказанных функций для метода, рассмотренного в [3], и исследуемого материала – ПММ, приведено, соответственно, на рис. 3 и 4 для усредненных значений λ и при дестабилизирующих факторах, характерных для условий лабораторных испытаний. Аналогичные зависимости имеют место для других методов и материалов при определении их теплопроводности в лабораторных условиях.

Таким образом, для каждого метода и исследуемого материала существует некоторое значение $\tau_{уст}$, при котором критерий, комплексно учитывающий потери точности и оперативности, минимален. Для определения оптимального значения $\tau_{уст}^*$ введем критерий оптимальности, комплексно учитывающий потери точности и оперативности, то есть

$$J(\tau_{уст}, M, O) = [C_1 \Pi_T(\tau_{уст}, M, O, D) + C_2 \Pi_{оп}(\tau_{уст}, M)] \rightarrow \min_{\tau_{уст}, M}, \quad (2)$$

где C_1, C_2 – весовые коэффициенты.

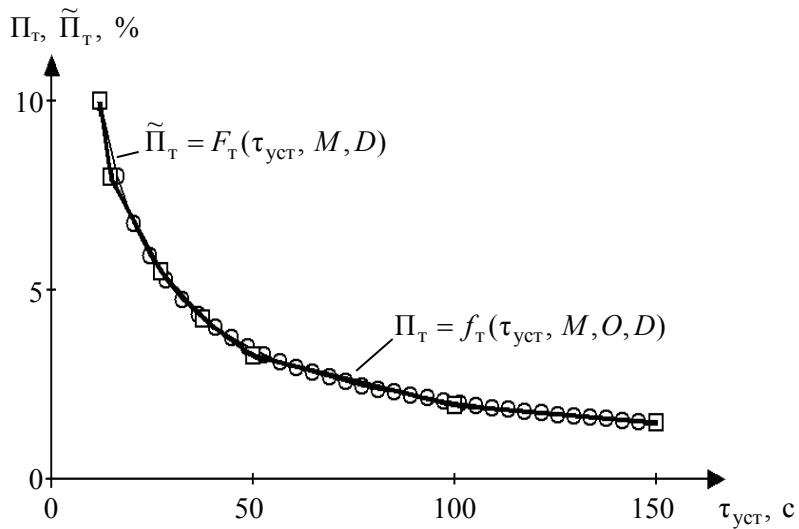


Рис. 3. Графики зависимостей $\Pi_T = f_T(\tau_{уст}, M, O, D)$ и аппроксимирующей функции

$$\tilde{\Pi}_T = F_T(\tau_{уст}) = 65,27 \tau_{уст}^{-0,752}$$

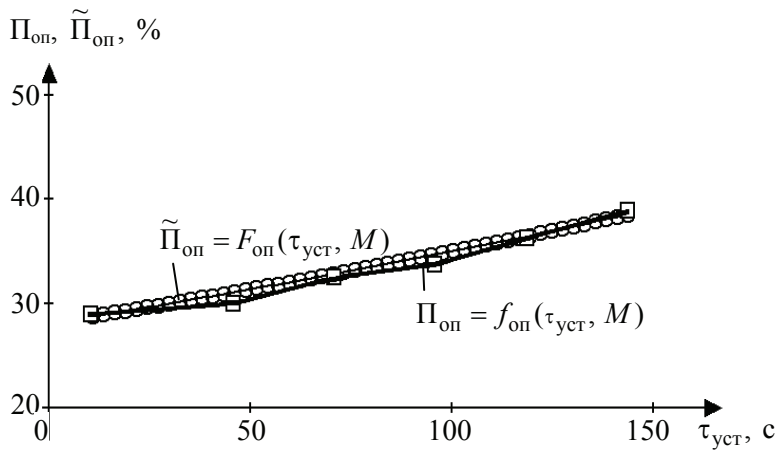


Рис. 4. Графики зависимостей $\Pi_{оп} = f_{оп}(\tau_{уст}, M)$ и аппроксимирующей функции

$$\tilde{\Pi}_{оп} = F_{оп}(\tau_{уст}, M) = 28,096 e^{0,0022\tau_{уст}}$$

Изменение критерия $J = f(\tau_{уст}, O)$ при $C_1 = C_2 = 1$ для зависимостей потерь, приведенных на рис. 3 и 4, показано на рис. 5, оптимальное время достижения установившегося теплового режима в данном случае равно 80 с.

Предложен алгоритм реализации метода достижения заданной точности λ теплоизоляционных материалов, блок-схема которого представлена на рис. 6.

В базе знаний интеллектуальной ИИИС содержатся:

– формулы расчета оптимального времени $\tau_{уст}^*$ в зависимости от выбранных весовых коэффициентов;

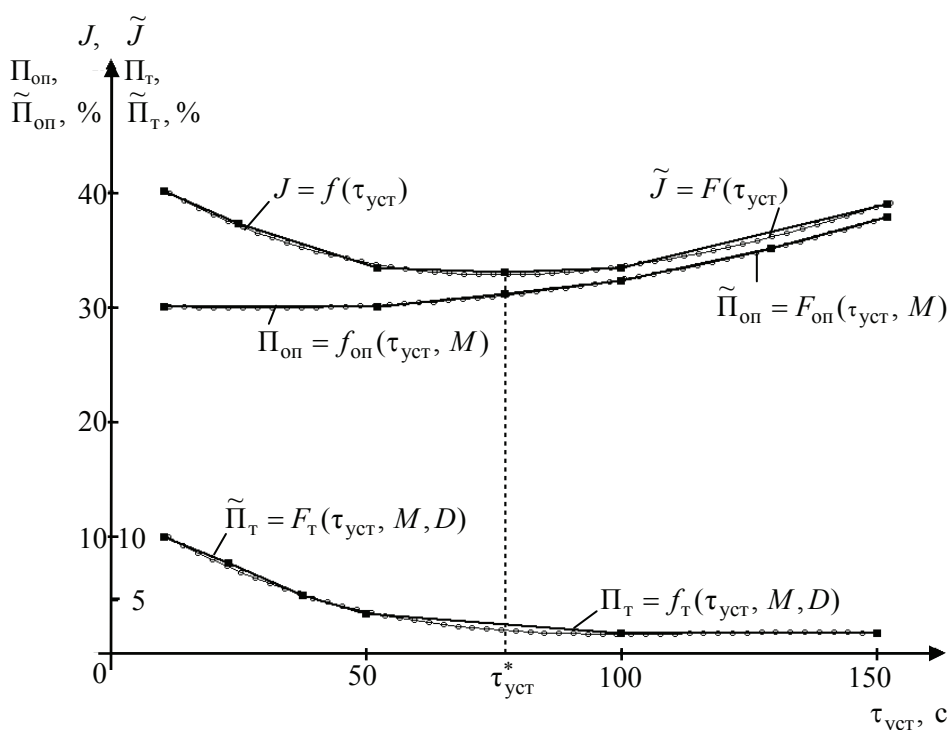


Рис. 5. Графики зависимостей $J = f(\tau_{уст}, O_{ПММ})$ и аппроксимирующие зависимости:

$$\begin{aligned} \tilde{\Pi}_T &= F_T(\tau_{уст}, M, D) = -(7,38 \cdot 10^{-6})\tau_{уст}^3 + 0,026\tau_{уст}^2 - 0,303\tau_{уст} + 13,08; \\ \tilde{\Pi}_{оп} &= F_{оп}(\tau_{уст}, M) = (5,719 \cdot 10^{-6})\tau_{уст}^3 + (4,062 \cdot 10^{-4})\tau_{уст}^2 - 0,025\tau_{уст} + 30,208; \\ \tilde{J} &= F(\tau_{уст}) = -(4,288 \cdot 10^{-6})\tau_{уст}^3 + 0,0023\tau_{уст}^2 - 0,289\tau_{уст} + 42,83 \end{aligned}$$

- зависимость $\tau_{уст}$ от λ при использовании различных методов;
- зависимость $\tau_{уст}$ от a для применяемых методов;

– рекомендуемые значения показателя установившегося теплового режима β для различных (теплопроводностей) материалов.

Выводы. Проведены экспериментальные исследования выходных параметров точности от входных параметров X_i , управляемых параметров технологического процесса и дестабилизирующих факторов, влияющих на точность Y_n , и выполнена аппроксимация полученных зависимостей:

$$\lambda = f(X); \quad \lambda = f(Q_j); \quad \lambda = f(D_m); \quad \lambda = f(V_{ИИИС}).$$

Экспериментальным путем подтверждено повышение точности определения λ в результате использования созданной аналитической модели и реализации алгоритма решения задачи обеспечения точности контроля λ с погрешностью до 5 % с помощью ИИИС. Решение задачи обеспечения заданной точности контроля λ исследуемых материалов, достижение

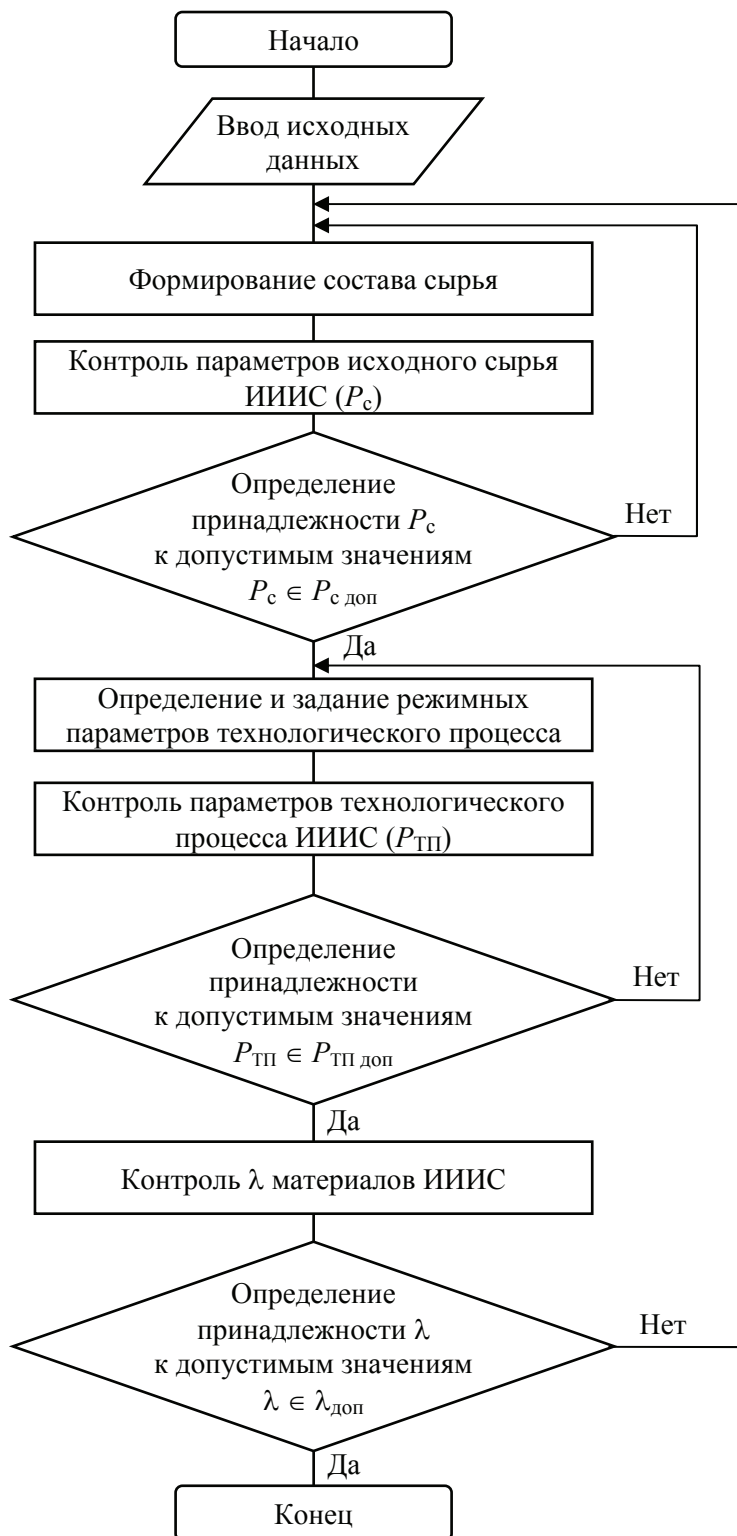


Рис. 6. Блок-схема алгоритма решения задачи достижения заданной точности λ теплоизоляционных материалов

заданной точности технологических процессов производства теплоизоляционных материалов позволяют в итоге обеспечить требуемое качество выпускаемых теплоизоляционных материалов.

Список литературы

1. Петров-Денисов, В.Г. Процессы тепло- и массообмена в промышленной изоляции / В.Г. Петров-Денисов, Л.А. Масленников. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 192 с.

2. Технология производства [Электронный ресурс] : сайт ЗАО «Изорок». – Режим доступа : <http://www.isoroc.ru/tehnologia.htm>. – Загл. с экрана (дата обращения 15.02.2011).

3. Селиванова, З.М. Метод и интеллектуальная информационно-измерительная система для определения теплофизических свойств твердых материалов / З.М. Селиванова // Информационные системы и процессы : сб. науч. тр. / Тамб. гос. техн. ун-т ; ТФ МГУКИ ; под ред. В.М. Тютюника. – Тамбов ; М. ; СПб. ; Баку ; Вена : Нобелистика, 2006. – Вып. 3. – С. 137–142.

Achieving the Given Accuracy and Quality in Determining Thermal Conductivity of Insulation Materials by Intellectual Information-Measuring System

K.S. Stasenko, Z.M. Selivanova

Tambov State Technical University», Tambov

Key words and phrases: information-measuring system; insulation materials; technology of production of mineral wool; thermal conductivity.

Abstract: The statement of the problem of achieving the given accuracy and the quality when determining thermal conductivity of mineral wool plates is implemented. The analytical model, establishing the dependence of target parameters of accuracy of thermal conductivity of insulation materials from input parameters (materials, the equipment, information-measuring system) in the control process, is offered; the algorithm of the solution to the problem of achieving the accuracy of control of the thermal conductivity and the quality of investigated materials is proposed.

© К.С. Стасенко, З.М. Селиванова, 2011

ДЛЯ ЗАМЕТОК