

*К.С. Стасенко****АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ**

Теплоизоляционные свойства минеральной ваты определяются воздушными порами, заключенными между волокнами. Технологический процесс состоит: из подготовки исходного сырья и топлива, составления шихты, получения силикатного расплава, получения минерального волокна, производства изделий из минерального волокна. Управляемыми параметрами на стадии подготовки сырья при производстве минваты являются: концентрация исходных компонентов, влажность, фракционный и химический состав сырья, неуправляемыми – температура и влажность окружающей среды. Теплопроводность является одним из основных свойств, от которого зависит качество минеральных ват. Эффективным направлением достижения заданной точности измерения коэффициента теплопроводности λ является применение интеллектуальной информационно-измерительной системы (ИИИС) для измерения контролируемых параметров и управления технологическим процессом при изготовлении минераловатных плит. Определение λ ($\lambda = 0,033 \dots 0,037$ Вт/(м · К)) в узком диапазоне связано с большими трудностями, так как необходимо обеспечить высокий метрологический уровень ИИИС, точность технологического процесса изготовления минваты, коррекцию воздействия дестабилизирующих факторов на ИИИС и технологический процесс, которые вносят погрешность в результат измерения λ .

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО «ГГТУ» З.М. Селивановой.

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 λ минват; n – количество Y ; X_i – входные параметры (минват, исходного сырья, технологического оборудования, ИИИС; i – количество X_j ; $\delta_t = \{S_n, n = 1, \dots, k\}$ – требования к точности определения λ ; S_n – виды требований точности; k – число требований; Q_j – управляемые параметры технологического процесса; 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 λ , относятся: погрешность измерения и потери точности и оперативности при контроле теплопроводности. К неуправляемым параметрам относятся воздействующие дестабилизирующие факторы на ИИИС и технологический процесс производства минват.

Проведены экспериментальные исследования теплоизоляционных материалов с помощью ИИИС. На рисунке 1 представлены термограммы теплоизоляционных материалов с различными значениями λ , которая определяется с использованием ИИИС [1]. Анализ приведенных термограмм показывает, что время $\tau_{\text{уст}}$ достижения установившегося теплового режима в области контакта измерительного зонда ИИИС и исследуемого материала существенно зависит от λ и тем больше, чем меньше λ материала. Отсюда следует, что при работе с исследуемыми материалами данного класса нецелесообразно в ИИИС задавать одно фиксированное время, например, для рипора $\tau_{\text{уст.р.}} = 140$ с (это соответствует подаче n_p тепловых импульсов).

Потери точности и оперативности ИИИС неразрушающего контроля λ теплоизоляционных материалов в результате нерационального выбора времени достижения установившегося теплового режима могут быть оценены с помощью показателей точности (Π_t) и оперативности ($\Pi_{\text{оп}}$). В качестве Π_t будем использовать погрешность измерений, а показателем $\Pi_{\text{оп}}$ будет служить время измерения λ . Функциональные зависимости этих потерь от $\tau_{\text{уст}}$ должны учитывать применяемый метод контроля λ материалов и влияние дестабилизирующих факторов, т.е.

$$\Pi_t = f_t(\tau_{\text{уст}}, M, O, D); \quad \Pi_{\text{оп}} = f_{\text{оп}}(\tau_{\text{уст}}, M),$$

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

Графическое представление вышеуказанных функций для метода, рассмотренного в [1], и исследуемого материала – полиметилметакрилата приведено на рис. 2 для усредненных значений λ и при дестабилизирующих факторах. Аналогичные зависимости имеют место для других методов и материалов при определении их λ .

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, т.е.

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

где C_1, C_2 – весовые коэффициенты.

Изменение критерия $J = f(\tau_{уст}, O)$ при $C_1 = C_2 = 1$ для зависимостей потерь Π_T и $\Pi_{оп}$ показано на рис. 2, оптимальное время достижения установившегося теплового режима в данном случае равно 90 с.

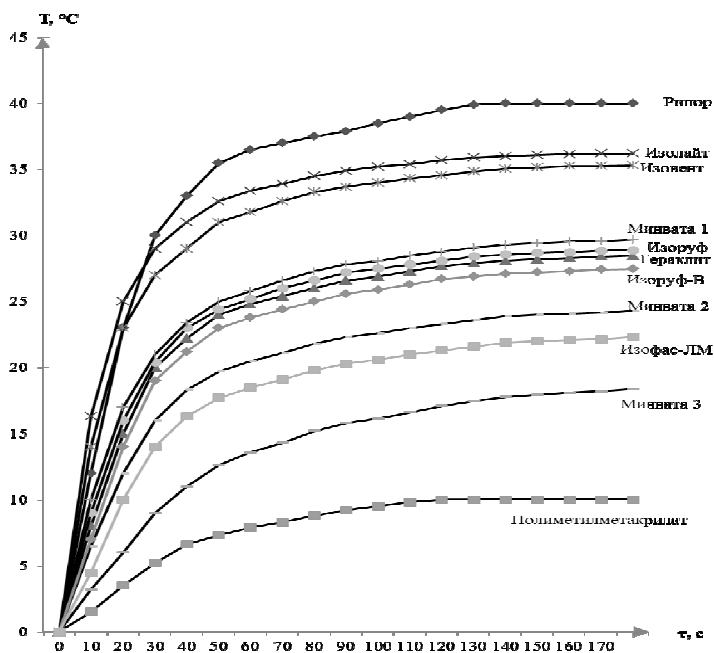


Рис. 1. Термограммы исследуемых теплоизоляционных материалов

Результаты экспериментальных исследований минеральных ват и других теплоизоляционных материалов, а также потерь точности и оперативности при оценке качества продукции при производстве минераловатных плит с использованием разработанной аналитической модели приведены в табл. 1.

1. Результаты экспериментальных исследований минеральных ват

Исследуемые минваты	$\lambda_{эт}$, Вт/(м·К)	$\lambda_{изм}$, Вт/(м·К)	δ , %	Π_T , %	$\Pi_{оп}$, %
Рипор	0,028	0,027	2,7	5	30
Гераклит	0,035	0,034	2,8	4	35
Изолайт	0,032	0,0323	0,9	7,2	33
Изоруф	0,034	0,0337	0,88	1,3	34
Изоруф-В	0,035	0,0346	1,1	2,6	36
Изофас-ЛМ	0,039	0,04	2,5	7,1	42
ПММ	0,195	0,194	0,5	4	60

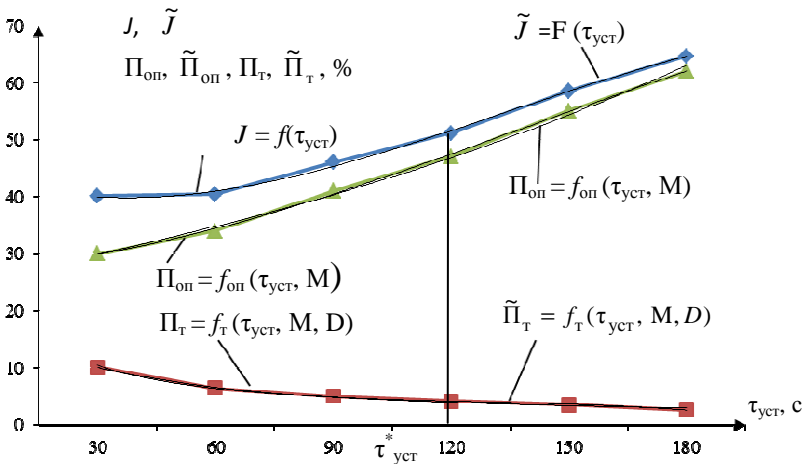


Рис. 2. Графики зависимостей $J = f(\tau_{уст}, O_{ИММ})$ и аппроксимирующие зависимости:

$$\tilde{\Pi}_T = F_T(\tau_{уст}, M, D) = -(0,1255)\tau_{уст}^3 + 1,6236\tau_{уст}^2 - 7,4652\tau_{уст} + 16,007 ;$$

$$\tilde{\Pi}_{оп} = F_{оп}(\tau_{уст}, M) = -(0,1019)\tau_{уст}^3 + (1,4087 \cdot 10^{-4})\tau_{уст}^2 - 0,9392\tau_{уст} + 27,667 ;$$

$$\tilde{J} = F(\tau_{уст}) = -(0,2273)\tau_{уст}^3 + 3,0323\tau_{уст}^2 - 6,5261\tau_{уст} + 43,673$$

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что применение созданной аналитической модели повышает точность определения λ на основе минимизации критерия, комплексно учитывающего потери точности и оперативности, точного контроля параметров сырья, технологического процесса и оборудования при производстве минват. Относительная погрешность определения λ минват не превышает 3 %, что соответствует допустимым значениям точности ИИИС для контроля качественных свойств теплоизоляционных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. – Тамбов ; М. ; СПб. ; Баку ; Вена : Изд-во «Нобелистика», 2006. – Вып. 3. – С. 137 – 142.

Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»