

МЕТОД И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ДОПУСКОВОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

К. С. Стасенко, З. М. Селиванова

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»,
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; selivanova@mail.jesby.tstu.ru*

Ключевые слова: допусковый контроль; интеллектуальная информационно-измерительная система; режимные параметры; теплоизоляционные материалы; теплопроводность.

Аннотация: Предложен метод повышения точности допускового контроля режимных параметров технологического процесса изготовления минераловатных плит и теплопроводности готовой продукции, отличающийся определением при допусковом контроле порога принадлежности к зоне допуска контролируемых параметров. Разработана структура интеллектуальной информационно-измерительной системы, реализующая созданный метод и алгоритм мониторинга режимных параметров технологического процесса изготовления минераловатных плит, отличающаяся созданными блоками мониторинга и коррекции режимных параметров технологического процесса изготовления теплоизоляционных материалов.

Для контроля теплофизических свойств (ТФС) теплоизоляционных материалов широко применяются информационно-измерительные системы (ИИС) допускового контроля. Основным направлением повышения точности допускового контроля режимных параметров технологического процесса изготовления теплоизоляционных материалов и их теплопроводности является разработка интеллектуальной информационно-измерительной системы (ИИИС) допускового контроля (ДК) теплопроводности теплоизоляционных материалов (ТТМ), позволяющей принимать решения в условиях неопределенности для выбора оптимальных режимных параметров на основе создания базы знаний, метода повышения точности допускового контроля и алгоритмического обеспечения ИИИС [1]. В связи с этим задача создания ИИИС ДК ТТМ, повышающей качество теплоизоляционных материалов, является важной и актуальной. Интеллектуальная информационно-измерительная система ДК ТТМ разработана на основе теории измерительных систем и ДК [2], нечетких множеств и искусственного интеллекта.

В ходе анализа технологического процесса и стадий производства минеральных ват определены управляемые и неуправляемые режимные параметры (РП). Технологический процесс состоит из подготовки исходного сырья и топлива, составления шихты, получения силикатного расплава и минерального волокна, производства изделий из минерального волокна. Управляемыми параметрами

при производстве минват являются: концентрация исходного сырья C ; влажность, фракционный и химический состав сырья $W_{в.с.с}$; концентрация модифицирующих добавок $C_{д}$; концентрация связующего компонента $C_{св}$; параметр термообработки минераловатного «ковра» $P_{т}$; скорость вращения валков центрифуги $S_{ц}$; неуправляемыми – температура $T_{о.с}$ и относительная влажность $V_{о.с}$ окружающей среды соответственно. Теплопроводность λ является одним из основных свойств, от которого зависит качество минеральных ват.

Точность определения λ ($\lambda = 0,028...0,046$ Вт/(м·К)) в узком диапазоне связана с большими трудностями, так как необходимо обеспечить высокий метрологический уровень ИИИС, точность технологического процесса изготовления минват, коррекцию воздействия дестабилизирующих факторов на ИИИС и технологический процесс, которые вносят погрешность в результат измерения λ . Существующие ИИС контроля теплопроводности не обеспечивают требуемого уровня точности допускового контроля режимных параметров на этапе технологического производства материалов. Уже на этапе технологического процесса производства материалов необходим учет и коррекция управляемых параметров, их точное измерение и контроль, а также учет влияния неуправляемых режимных параметров, что не обеспечивается при алгоритмическом обеспечении известных ИИС [3, 4].

На каждом этапе производства теплоизоляционных материалов происходит воздействие различных факторов, влияющих на качество изготавливаемых минераловатных плит. Основное влияние на качество продукции оказывают три режимных параметра: $T_{о.с}$, C и $P_{т}$.

Получены аппроксимирующие и экспериментальные зависимости λ для Рипора и Изоруфа от управляемых параметров (входных параметров исходного сырья $\lambda=f(C_{и})$, состава габбро-базальтовой породы $\lambda=f(C_{г-б.п})$, концентрации минераловатной смеси $\lambda=f(Q_{с})$); изофаса-ЛМ и неуправляемых параметров (температуры $\lambda=f(T_{о.с})$ и влажности окружающей среды $\lambda=f(V_{о.с})$); изофаса-ЛМ и параметров метрологического уровня ИИИС ($\lambda=f(\sigma_{ИИИС})$), использующиеся в базе знаний (БЗ) ИИИС ДК ТТМ для принятия решений о точности технологического процесса изготовления минераловатных плит и необходимости коррекции РП.

Создан метод повышения точности допускового контроля РП и изготовления минераловатных плит с заданной теплопроводностью, заключающийся в поэтапном контроле РП на стадиях техпроцесса изготовления минват, обеспечивающий требуемую точность технологического процесса и теплопроводности готовой продукции, отличающийся определением при допусковом контроле порога принадлежности (вновь введенного понятия) к зоне допуска контролируемых параметров в результате реализации интеллектуальной процедуры определения функций принадлежности нечетких множеств к зоне допуска режимных параметров.

Постановка задачи. Дано: 1. Управляемые режимные параметры $Q_{и}$ техпроцесса изготовления минераловатных плит.

2. Неуправляемые режимные параметры $Q_{м}$.

3. Экспериментальным путем определены нижние и верхние границы зон допуска на управляемые и неуправляемые РП: $C \in (C^H = 70 \%, C^B = 80 \%)$, $W_{в.с.с} \in (W_{в.с.с}^H = 20 \%, W_{в.с.с}^B = 30 \%)$, $C_{д} \in (C_{д}^H = 4 \%, C_{д}^B = 10 \%)$, $C_{св} \in (C_{св}^H = 2 \%, C_{св}^B = 5 \%)$, $S_{ц} \in (S_{ц}^H = 6000 \text{ об/мин}, S_{ц}^B = 7000 \text{ об/мин})$, $P_{т} \in (P_{т}^H = 1200 \text{ }^\circ\text{C}, P_{т}^B = 1500 \text{ }^\circ\text{C})$, $V_{о.с} \in (V_{о.с}^H = 48 \%, V_{о.с}^B = 60 \%)$, $T_{о.с} \in (T_{о.с}^H = 18 \text{ }^\circ\text{C}, T_{о.с}^B = 21 \text{ }^\circ\text{C})$.

Найти: 1. Порог принадлежности к зоне допуска контролируемых РП $\Delta_{н} = x_i - x_{н}$, $\Delta_{в} = x_i - x_{в}$ (где x_i – значение режимного параметра; $x_{н}$, $x_{в}$ – количественные показатели нижней и верхней границ допуска соответственно), позволяющий повысить допустимую вероятность получения качественной продукции

$P_{\text{доп}}$ при обеспечении относительной погрешности измерения теплопроводности $\delta_\lambda = 4\%$.

2. Определить максимальный порог $\Delta x_{\text{н max}}$, $\Delta x_{\text{в max}}$ вхождения в зону допуска $D(x_{\text{н}+\Delta x_{\text{н}}}, x_{\text{в}-\Delta x_{\text{в}}})$ при обеспечении минимальной погрешности измерения $2-4\%$, $\Delta x = \max(\Delta x_{\text{н}}, \Delta x_{\text{в}})$ при $\lambda_{\text{ТП}} \in \lambda_{\text{ТП доп}}$, $\delta_\lambda \in \delta_{\lambda \text{ доп}}$.

3. Вероятность $P_{\text{доп}}$, при которой значения $M_X^* - \alpha$ находятся в пределах $[-\Delta; \Delta]$: $P\{-\Delta < M_X^* - \alpha < \Delta\} = P_{\text{доп}}$ (α – ошибка первого рода).

Вероятность влияния неуправляемых режимных параметров $P_{Q_m}(T_{\text{о.с}}, V_{\text{о.с}})$. Функция вероятности имеет вид $P_{Q_m}\{f(X), T_{\text{о.с}}, V_{\text{о.с}}\}$.

Вероятность влияния управляемых режимных параметров P_{Q_u} примет следующий вид: $P_{Q_u}\{f(X), C, W_{\text{в.с.с}}, C_{\text{д}}, C_{\text{ск}}, P_{\text{т}}, S_{\text{ц}}\}$.

Получение минват требуемого качества зависит от величин режимных параметров $C, W_{\text{в.с.с}}, C_{\text{д}}, C_{\text{ск}}, P_{\text{т}}, S_{\text{ц}}, T_{\text{о.с}}, V_{\text{о.с}}$.

Вариант функции принадлежности к заданной зоне допуска контролируемого режимного параметра ($D_{\text{н}}, D_{\text{в}}$):

$$\mu(X) = \mu(D_{\text{н}+\Delta D_{\text{н}}}, D_{\text{в}-\Delta D_{\text{в}}}, X_{\text{изм}}).$$

Событие, обеспечивающее требуемое качество минват по величине X_i , обозначено через L_i , тогда вероятность получения минват требуемого качества по всем параметрам (параметры L_i зависимы):

$$P = P(L_1, \dots, L_e) = P(L_1), P(L_2 | L_1), \dots, P(L_e | L_1, \dots, L_e).$$

Если плотность распределения вероятностей значений контролируемого режимного параметра $f(x)$, нижняя $D_{\text{н}+\Delta D_{\text{н}}}$ и верхняя $D_{\text{в}-\Delta D_{\text{в}}}$ границы нормы, тогда вероятность нахождения контролируемых параметров в допуске

$$Q_{\text{Д}} = \int_{D_{\text{н}+\Delta D_{\text{н}}}}^{D_{\text{в}-\Delta D_{\text{в}}}} f(x) dx.$$

Вероятность нахождения контролируемых параметров вне допуска:

$$Q_{\text{Н}} = \int_{-\infty}^{D_{\text{н}+\Delta D_{\text{н}}}} f(x) dx; \quad Q_{\text{В}} = \int_{D_{\text{в}-\Delta D_{\text{в}}}}^{\infty} f(x) dx.$$

Получены функции принадлежности к зоне допуска для основных видов минераловатных плит и восьми контролируемых РП. Функции $\mu_{f\lambda}$ принадлежности к зоне допуска лингвистической переменной для материала Рипор – теплопроводности λ – представлены на рис. 1.

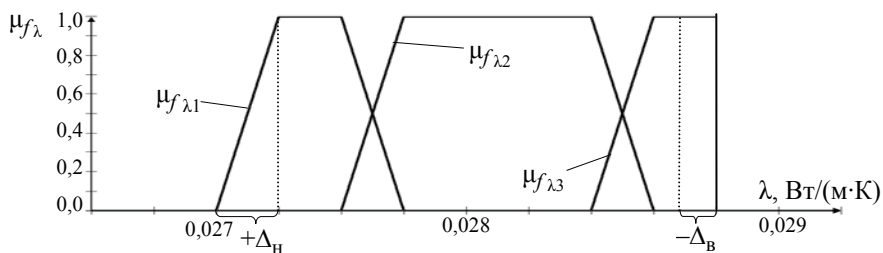


Рис. 1. Функция принадлежности нечетких множеств $\mu_{f\lambda}$.

Соответствующие функции принадлежности $\mu_{f\lambda}$ описываются зависимостями:

$$\mu_{f_{\lambda_1}}(\lambda) = \begin{cases} 0, \lambda < 0,0277; \\ 0,0277\lambda^2 - 0,0368\lambda + 0,0739, \lambda \in [0,0277; 0,02794]; \\ 1, \lambda \in [0,02794; 0,02795]; \\ 0,0075\lambda^2 - 0,5055\lambda + 0,5305, \lambda \in [0,02795; 0,02796]; \end{cases}$$

$$\mu_{f_{\lambda_2}}(\lambda) = \begin{cases} -0,125\lambda^2 + 0,2475\lambda + 0,1123, \lambda \in [0,02794; 0,02796]; \\ 1, \lambda \in [0,02796; 0,02806]; \\ 0,0029\lambda^2 - 0,368\lambda + 0,6956, \lambda \in [0,02806; 0,0281]; \end{cases}$$

$$\mu_{f_{\lambda_3}}(\lambda) = \begin{cases} 0,015\lambda^2 + 0,281\lambda + 0,077, \lambda \in [0,02806; 0,02809]; \\ 1, \lambda \in [0,02809; 0,0283]. \end{cases}$$

Экспериментальным путем получены значения порога принадлежности к зоне допуска (варьированием значением порога допуска от 0,1 до 10 %) для параметров сырья, управляемых и неуправляемых РП, входных параметров. Из анализа порога принадлежности к зоне допуска, расчета теплопроводности и погрешности измерения очевидно, что возможное отклонение от зоны допуска должно быть не более 1 % от значений контролируемых режимных параметров, при котором обеспечивается допустимая погрешность измерения λ до 4 %. Выполнение указанного условия позволяет изготавливать минваты с заданной теплопроводностью и требуемого качества. Сформированы соответствующие рекомендации по допусковым значениям для РП техпроцесса изготовления минераловатных плит.

Мониторинг и допусковой контроль технологического процесса производства минваты с помощью ИИИС ДК ТТМ представлен в виде кортежа:

$$M = \langle M_C, M_{РП}, M_{ПК} \rangle,$$

где M_C – мониторинг параметров и состава исходного сырья; $M_{РП}$ – мониторинг значений режимных параметров; $M_{ПК}$ – мониторинг параметров качества теплоизоляционных материалов.

Алгоритм мониторинга и допускового контроля на основе предложенного метода допускового контроля с использованием разработанной базы знаний ИИИС ДК ТТМ представлен на рис. 2, где $P_C, P_{РП}, P_{ПК}$ – соответственно вероятности принадлежности параметров сырья, режимных параметров и параметров качества к допустимым значениям.

Информационное обеспечение ИИИС ДК ТТМ осуществляется с использованием созданных базы знаний и базы данных. В базе знаний хранятся процедурные правила в виде фреймов, используемые при реализации алгоритмического обеспечения ИИИС. Разработаны процедурные правила для реализации метода допускового контроля в базе знаний ИИИС, используемые при принятии решений по коррекции технологического процесса изготовления минваты, если контролируемые параметры не соответствуют зоне допуска.

Создана структурная схема ИИИС ДК ТТМ и алгоритм функционирования ИИИС, реализующий созданный метод повышения точности допускового контроля (рис. 3).

В процессе функционирования ИИИС происходит сравнение полученных результатов измерений с допустимыми. Если значение РП не соответствует порогу принадлежности к зоне допуска РП, то следует обращение к БЗ для выполнения интеллектуальной процедуры принятия решения о коррекции режимных параметров технологического процесса изготовления теплоизоляционных материалов. После этого поэтапная процедура сравнения РП с их допустимыми значениями

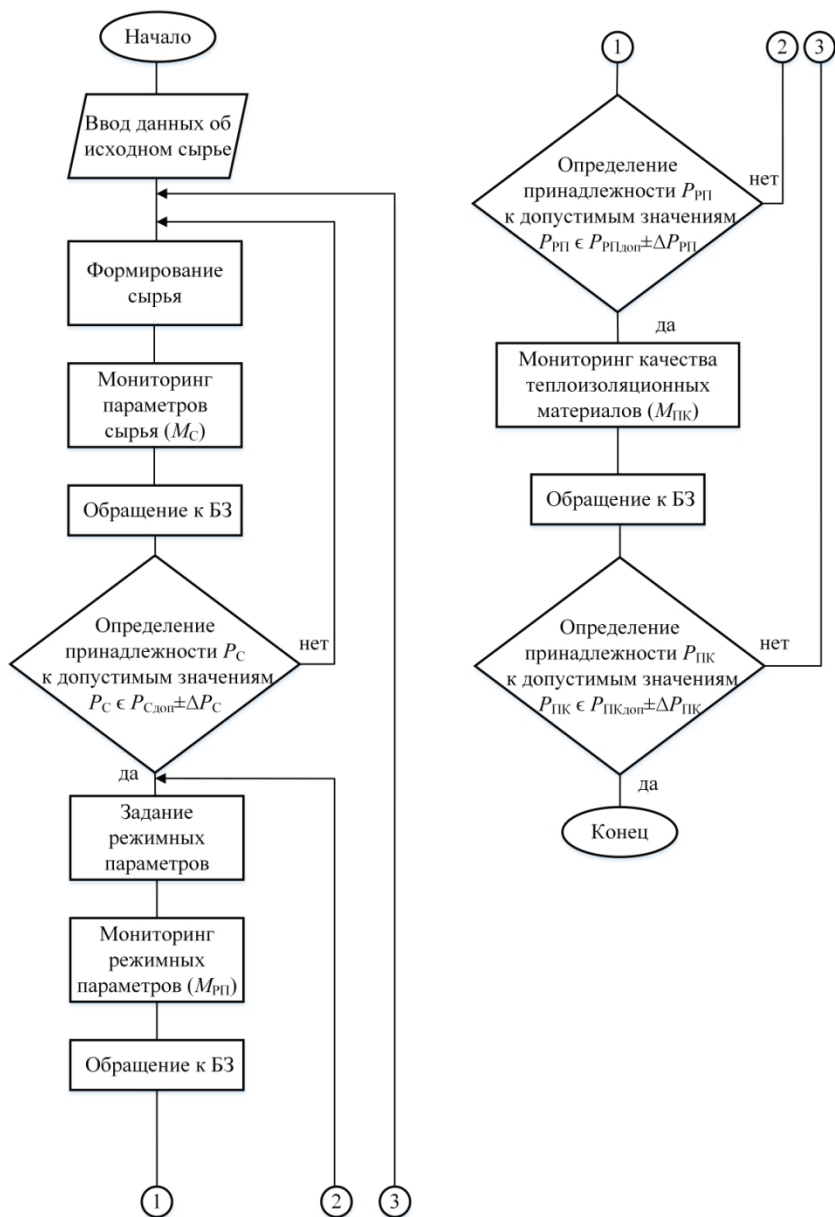


Рис. 2. Блок-схема алгоритма мониторинга и допускового контроля ИИИС ДК ТТМ

повторяется до наступления соответствия зоне допуска РП. Затем осуществляется измерение и ДК теплопроводности ТМ. Для измерения теплопроводности минераловатных плит в ИИИС применяется метод неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов, заключающийся в тепловом воздействии на поверхность ТМ линейного нагревателя измерительного зонда импульсами заданной частоты и мощности с последующей регистрацией температурно-временных характеристик в области контакта зонда и ТМ, информация о которых используется в базе знаний ИИИС для расчета коэффициента теплопроводности ТМ [1]. Согласно алгоритму ДК, происходит определение принадлежности $\lambda \in \lambda_{\text{доп}}$ и $\delta_\lambda \in \delta_{\lambda_{\text{доп}}}$. В случае их несоответствия области допустимых значений цикл измерения и контроля РП повторяется.

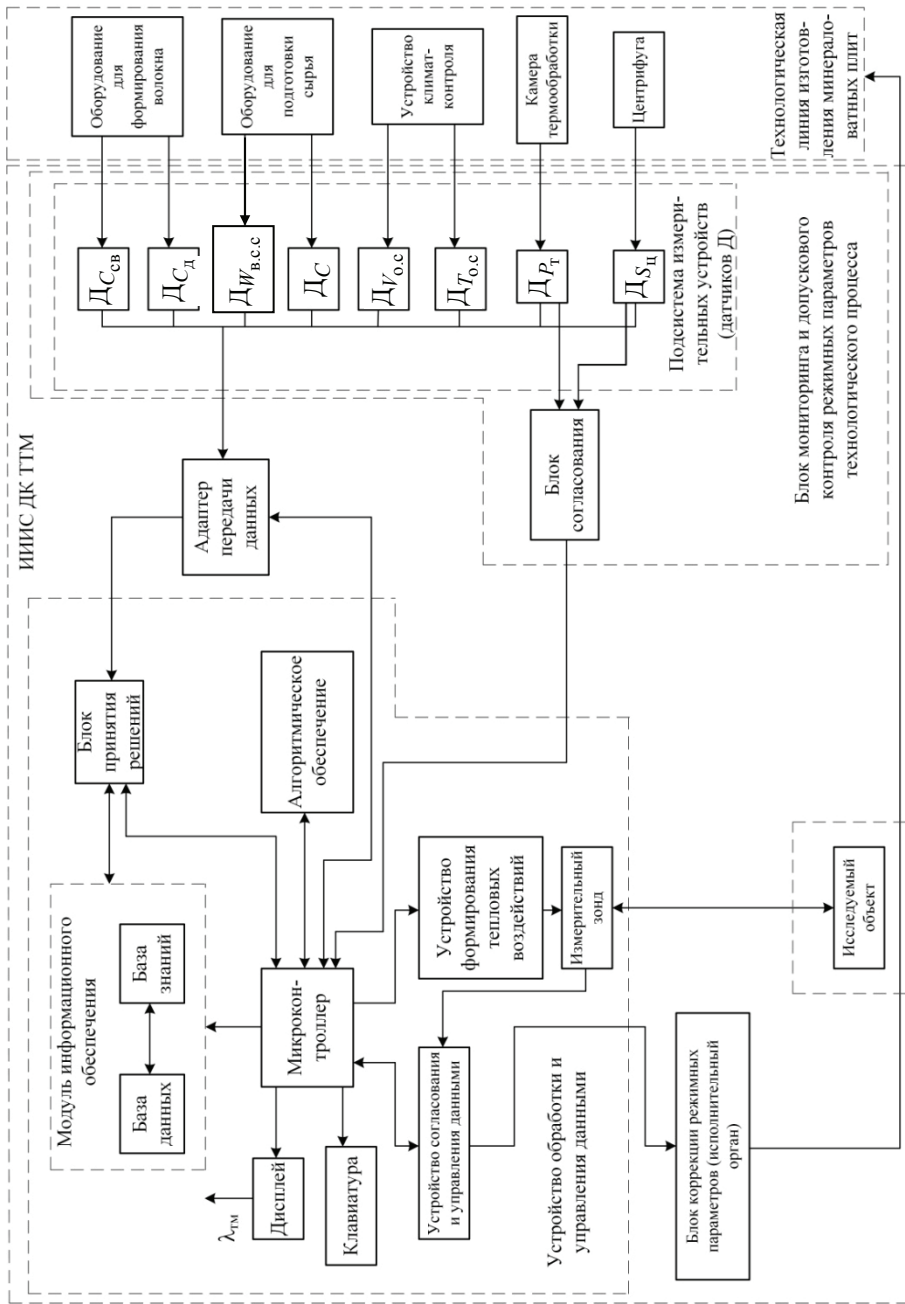


Рис. 3. Структурная схема ИИС ДК ТТМ

Проведены экспериментальные исследования ИИИС ДК ТТМ, позволяющие установить, что в результате применения в системе созданного метода и алгоритма допускового контроля режимных параметров техпроцесса повысилась точность определения теплопроводности теплоизоляционных материалов, относительная погрешность результатов измерения не более 4 %, и вероятность выхода качественной продукции до 0,95.

Полученные результаты исследований и разработанная ИИИС ДК ТТМ рекомендуются для использования на предприятиях, выпускающих теплоизоляционные материалы (в том числе минераловатные плиты), которые широко применяются в строительной промышленности.

Список литературы

1. Селиванова, З. М. Проектирование интеллектуальных информационно-измерительных систем неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов / З. М. Селиванова, А. А. Самохвалов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 273 – 283.

2. Цапенко, М. П. Измерительные информационные системы. Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование : учеб. пособие для вузов / М. П. Цапенко. – 2-е изд., перер. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 440 с.

3. Информационно-измерительная техника и электроника: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. Г. Ранев [и др.]. – М. : Академия, 2006. – 512 с.

4. Артемова, С. В. Прогнозирование и компенсация возмущения в системах оптимального управления / С. В. Артемова, Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2003. – Т. 9, № 4. – С. 632 – 637.

Method and Intellectual Data Measuring System to Increase the Accuracy of Pre-Commissioning Control of Heat-Insulating Materials

K. S. Stasenko, Z. M. Selivanova

*Department “Designing of Radio-electronic and Microprocessor Systems”, TSTU;
selivanova@mail.jesby.tstu.ru*

Keywords: data measuring system; heat conductivity; heat-insulating materials; pre-commissioning; regime parameters.

Abstract: We proposed a method to increase the accuracy of pre-commissioning control over mode parameters of mineral wool slab production and thermal conductivity of the finished product. The method consists in determining at pre-commissioning stage of a threshold zone of controlled parameters. The structure of intellectual data measuring system realizing the created method and monitoring algorithm of mode parameters of mineral wool slab production, is different from the mode parameters of mineral wool slab production created by the blocks of monitoring and correction.

References

1. Selivanova Z.M., Samokhvalov A.A. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2010, vol. 16, no. 2, pp. 273-283.

2. Tsapenko M.P. *Izmeritel'nye informatsionnye sistemy: Struktury i algoritmy, sistemotekhnicheskoe proektirovanie* (Measuring information systems: Structures and algorithms systems engineering design), Moscow: Energoatomizdat, 1985, 440 p.

3. Ranev G.G., Surogina V.A., Kalashnikov V.I., Nefedov S.V., Tarasenko A.P. *Informatsionno-izmeritel'naya tekhnika i elektronika* (Information and measuring equipment and electronics), Moscow: Akademiya, 2006, 512 p.

4. Artyomova S.V., Muromtsev D.Y., Gribkov A.N. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2003, vol. 9. no. 4, pp. 632-637.

Methode und intellektuelles Informationsmesssystem für die Erhöhung der Genauigkeit der Zutrittskontrolle der Wärmedämmstoffe

Zusammenfassung: Es ist die Methode der Erhöhung der Genauigkeit der Zutrittskontrolle der Regimeparameter des technologischen Prozesses der Erzeugung der Mineralwatteplatten und der Wärmeleitfähigkeit der Fertigware, die sich durch die Bestimmung bei der Zutrittskontrolle der Schwelle der Zugehörigkeit der Zone des Zutrittes der kontrollierten Parameter unterscheidet, vorgeschlagen. Es ist die Struktur des intellektuellen Informationsmesssystems, die die geschaffenen Methoden und den Algorithmen des Monitorings der Regimeparameter des technischen Prozesses der Erzeugung der Mineralwatteplatten realisiert und sich von den geschaffenen Blöcke des Monitorings und der Korrektur der Regimeparameter des technischen Prozesses der Erzeugung der Mineralwatteplatten unterscheidet, vorgeschlagen.

Méthode et système intellectuel d'information et de mesure pour l'augmentation de la précision du contrôle de mise en marche de la conductibilité thermique des matériaux thermoisolants

Résumé: Sont proposées la méthode de l'augmentation de la précision du contrôle de mise en marche des paramètres du processus de la fabrication des plaques de fibre minérale et de la conductibilité thermique des produits finis ainsi que la structure du système intellectuel d'information et de mesure qui réalise la méthode créée et l'algorithme du monitoring des paramètres du processus technologique de la fabrication des plaques de fibre minérale.

Авторы: *Селиванова Зоя Михайловна* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»; *Стасенко Константин Сергеевич* – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Муромцев Дмитрий Юрьевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
