
АСПЕКТЫ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ТЕРМОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Святослав Яцишин, Богдан Стадник, Юрий Лега,
Ярослав Луцик, Вениамин Мельник

Abstract: The investigations of different kinds of thermometric materials have shown the possibilities of developing of high quality temperature transducers by means of thermodynamics of irreversible processes.

Введение

На сегодня, в арсенале термометрических материалов (далее по тексту - ТМ), кроме традиционных поли- и монокристаллических ТМ, с успехом используются новые классы ТМ – специальные микропористые и аморфные ТМ [1]. На очереди проектирование, изготовление и использование наноматериалов [2]. Однако их применение тормозится недостаточной изученностью последних, отсутствием планомерного и дифференцированного подхода к их изучению при наличии широкого спектра факторов возмущения.

Достижения метрологии в направлении создания интеллектуальных термопреобразователей (далее по тексту - ТП) позволяют сосредоточиться исключительно на таких характеристиках ТМ, как воспроизводимость и стабильность во времени под действием множества реальных факторов возмущения, не принимая во внимание величины и знаки параметров, обеспечивающих функцию преобразования. Логичным представляется применение статистически-термодинамических представлений относительно упомянутых характеристик, учитывая эффективность привлечения термодинамики неравновесных процессов [3] к подобным объектам.

При разработке и использовании преобразователей температуры повышенной точности необходимо учитывать особенности термодинамического состояния термометрических материалов. Поэтому проведены исследования аморфных, моно- и поликристаллических ТМ и разработаны алгоритмические основы корректирования функций преобразования соответственно влиянию конкретных термодинамических сил, потоков и их комбинаций.

Цель работы

Разработка статистически-термодинамического алгоритма проектирования ТП средств электротермометрии, базируясь на совокупности экспериментально-теоретических исследований разных классов ТМ для широкого диапазона температур.

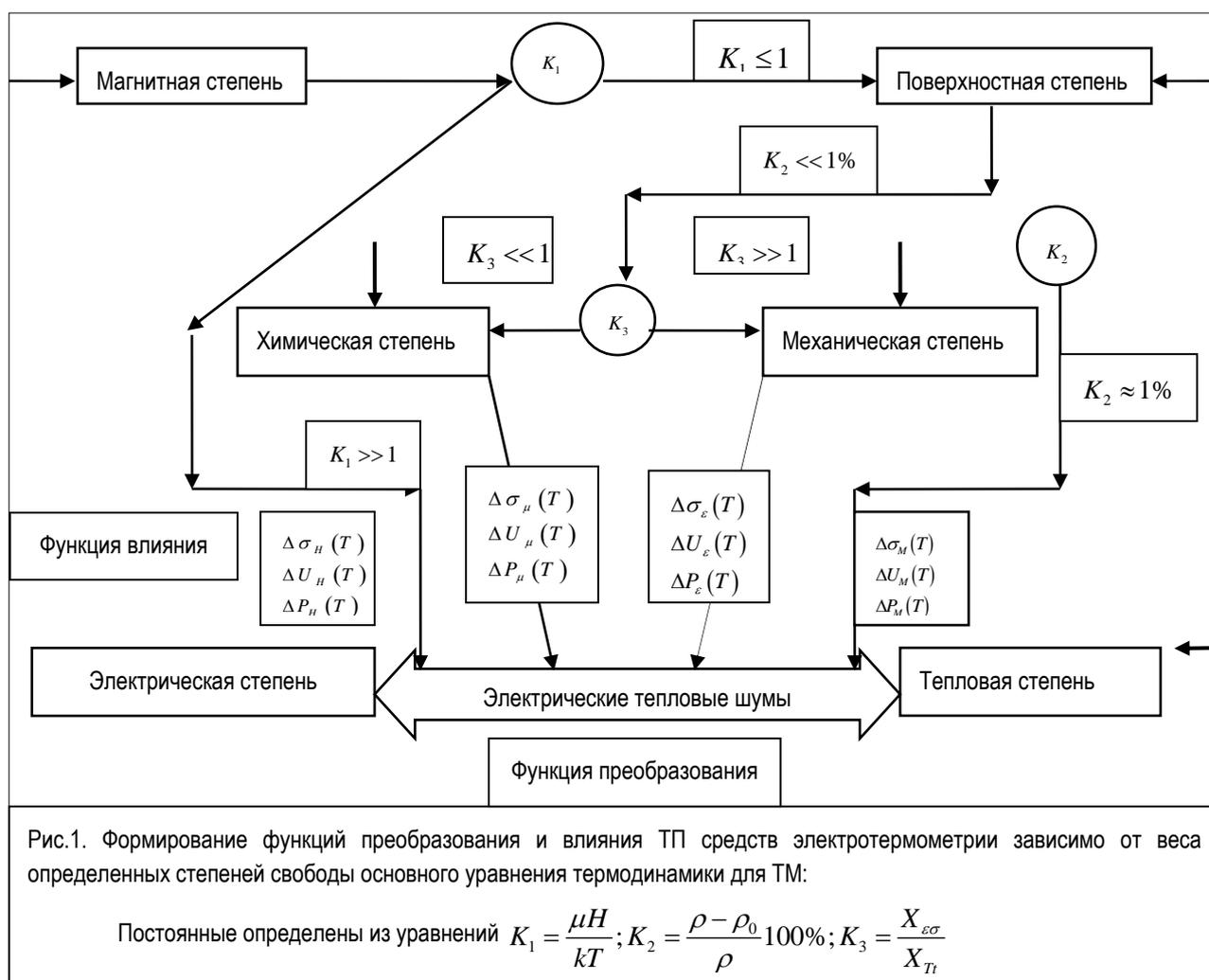
Основные материалы исследований

Деградационные процессы, протекающие в частично открытых термодинамических системах, способных обмениваться энергией или/и потоками энтропии с внешней средой, закладывают термодинамические основания для вывода со строя различных конструктивных элементов ТП. Отказ происходит в ослабленной, энергетически напряженной зоне, какой считается зона горячего спая ТП.

Снижение уровня электромеханохимических шумов ТМ способствовало повышению метрологической и механической надежности ТП, так как отказы обусловлены деградацией основных характеристик ТП.

Неразрывность конструктивно-технологично-эксплуатационного подхода относительно разработки, изготовления и эксплуатации высоконадежных ТП позволила предложить типовую конструкцию кабельного ТП (тип ТХА-1388) с повышенными параметрами надежности до $\lambda = 0,98$ за 25000 часов эксплуатации. Максимальной стабильностью функции преобразования характеризовались термоэлектрические и термошумовые ТП с аморфными ТМ, у которых отклонений не выявлено (в тех же условиях отклонения для поликристаллических ТМ достигали 10%).

В результате проведенных работ разработаны принципы и реализованы способы построения высокоточных ТП средств электротермометрии. На их основе создан алгоритм оценки воздействия функций влияния на функции преобразования ТП с использованием предварительно установленных факторов и методологии статистической термодинамики. Для этого определены процессы переноса термодинамических параметров (сил и потоков), присущие ТМ ТП средств электротермометрии, в конкретных условиях эксплуатации. Соответственно благодаря этому (рис.1) происходило перемещение в поле Алгоритма, причем путь перемещения определялся посредством коэффициентов $K_1; K_2; K_3$.



Указанным алгоритмом рассмотрено 6 степеней свободы основного уравнения термодинамики. Главными для ТМ ТП средств электротермометрии считаются электрическая и тепловая степени свободы, которые формировали электрические шумы. Именно они определяли функции преобразования терморезистивных,

термоэлектрических и термошумовых ТП - соответственно $\sigma(T); U(T); P(T)$. Все другие степени свободы формировали функции влияния, действие которых оценено последовательно, начиная с наименее существенных для типовых условий использования ТП (такими считаются магнитная и поверхностная степени свободы). Их механизм действия реализован через процессы переноса определенных термодинамических сил и потоков, отличающихся для каждой из следующих степеней свободы: химической, механической, поверхностной и магнитной.

Для оценки влияния магнитной степени и возможности пренебрежения ею введено критерий $K_1 = \frac{\mu H}{kT}$.

При $K_1 \gg 1$ (большие магнитные поля и «гелиевые» температуры) влияние магнитной степени свободы считается определяющим. Когда $K_1 < 1$, переходят к оценке влияния поверхностной степени на функцию преобразования. В условиях существенной ($K_2 > 1\%$) пористости ТМ металлокерамической технологии производства данная степень оказывала непосредственное влияние на функцию преобразования через соответствующую функцию влияния. Следуя данному Алгоритму, функция влияния поверхностной степени определялась посредством шумов, связанных с изменением плотности. При $K_2 < 1\%$ (монокристаллический ТМ) функцию влияния можно считать несущественной. Поэтому можно осуществить переход к оценке влияния химической и механической степеней свободы. Здесь предварительными установками заданы температурно-механически-временные режимы, которые определяли превалирование химической степени (процессы термодиффузии) или механической степени (процессы деформационного уплотнения). Для этого рассчитывали коэффициент K_3 согласно диффузионных $X_{i,T}$ и «механических» $X_{\sigma,\varepsilon}$ смещений атомов матрицы ТМ. Значения $K_3 \ll 1$ соответствовали превалированию химической степени, а $K_3 \gg 1$ - механической степени. Величины функций влияния, обусловленные воздействием конкретных процессов переноса, рассчитывали согласно представленных выражений или производили их оценку согласно результатам дополнительных исследований, для чего предусмотрено расширение Алгоритма.

Основная погрешность ТП средств электротермометрии, обусловленная изменениями функции преобразования под действием функций влияния, сведена к суммарному коэффициенту нестабильности K_Σ . Это - граничное значение относительной погрешности конкретного типа термопреобразователя, выраженное в виде комбинации трех безразмерных коэффициентов нестабильности:

$$K_\Sigma = (K_x + K_m) K_T,$$

где K_x ; K_m ; K_T - соответственно химический, механико-поверхностный и температурный коэффициенты нестабильности функции преобразования.

Каждому из приведенных коэффициентов, зависимо от особенностей изготовления и эксплуатации, присущи собственные происхождение и механизм действия, а также результирующее значение. Данное выражение получено в результате применения статистической термодинамики к изучению проблемы стабильности термометрических характеристик преобразователей температуры.

Выводы

В результате проведенного анализа предложено пути совершенствования ТП средств электротермометрии, которые заключаются в учете термодинамического состояния ТМ. Оптимизировано методику и разработаны алгоритмические основания корректировки функций преобразования согласно влиянию конкретных термодинамических сил и потоков на аморфные, моно- и поликристаллические ТМ, что позволяет решить проблему насковозного проектирования, изготовления и применения ТП.

Литература

1. Б.И.Стадник и др. Температурные измерения. Справочник. Киев: Наукова думка, 1986, 282 с.
 2. P.I.Skoropad, B.I.Stadnyk, S.P.Yatsyshyn. Technological and Thermodynamic Changes in Parameters of Thermoelectric Materials // Journal of Thermoelectricity. # 2, 2004, p. 30-36.
 3. Н.К.Булатов, А.Б.Лундин. Термодинамика необратимых физико-химических процессов. Москва: Химия, 1984, 334 с.
-

Информация об авторах

Яцишин Святослав Петрович, к.т.н., доцент; **Луцик Ярослав Теодорович**, д.т.н., проф. - Национальный университет "Львівська політехніка", Львов, Украина; yaroslav.lutsyk@gmail.com

Стадник Богдан Иванович, д.т.н., проф. – Жешовская политехника, Жешув, Польша;

Лега Юрий Григорьевич, д.т.н., проф.; **Мельник Вениамин Васильевич**, к.т.н., доцент – Черкасский государственный технологический университет, Черкассы, Украина