

УДК 681.2:621.362.2

А.В. Бондаренко, інженер,
Одес. нац. мор. акад.,
А.И. Брунеткин, канд. техн. наук,
А.В. Лысюк, студент,
Одес. нац. политехн. ун-т

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА НА ОСНОВЕ ХРОМЕЛЬ-АЛЮМЕЛЕВЫХ ТЕРМОПАР

А.В. Бондаренко, О.И. Брунеткин, О.В. Лысюк. **Дослідження високотемпературного вимірювального каналу на основі хромель-алюмелевих термопар.** Розглянуто систему вимірювання температури на основі хромель-алюмелевих термопар двох типорозмірів: діаметрами 0,5 і 1,2 мм. На основі відомих температур плавлення металів (олова, свинцю, цинку, алюмінію) виявлено наявність і визначено величину систематичної похибки щодо номінальної статичної характеристики. Відмічено можливість проведення оцінки якості виготовлення термопар на основі отриманих даних.

Ключові слова: термопара, хромель, алюмель, систематична похибка, якість виготовлення термопар.

А.В. Бондаренко, А.И. Брунеткин, А.В. Лысюк. **Исследование высокотемпературного измерительного канала на основе хромель-алюмелевых термопар.** Рассмотрена система измерения температуры на основе хромель-алюмелевых термопар двух типоразмеров: диаметрами 0,5 и 1,2 мм. На основе известных температур плавления металлов (олова, свинца, цинка, алюминия) выявлено наличие и определена величина систематической погрешности относительно номинальной статической характеристики. Отмечена возможность проведения оценки качества изготовления термопар на основе полученных данных.

Ключевые слова: термопара, хромель, алюмель, систематическая погрешность, качество изготовления термопар.

A.V. Bondarenko, A.I. Brunetkin, A.V. Lysyuk. **Research of high-temperature measuring channel by chromel-alumel thermocouples.** The system of temperature measurement based on chromel-alumel thermocouples in two sizes: with the diameters of 0.5 and 1.2 mm, is considered. Based on the known melting points of metals (tin, lead, zinc, aluminum) the presence and magnitude of the bias error is revealed and defined relative to the nominal static characteristic. The possibility of assessing the quality of manufacturing thermocouples based on the obtained data is noted.

Keywords: thermocouple, chromel, alumel, systematic/bias error, manufacturing quality of thermocouples.

При дослідженні змінення коефіцієнта излучения твердых тел при длительном нагреве их температура определяется двумя способами: с помощью пирометров и с помощью термопар [1]. Температура, измеренная в эксперименте с помощью термопар, выступает в качестве опорной (образцовой). Точность ее измерения, а так же стабильность воспроизведения при замене термопар должна быть оценена. С этой целью были выполнены исследования измерительного канала: термопара — соединительная линия — измерительный прибор.

Хромель-алюмелевые термопары (тип К) изготавливались двух размеров: из проволоки диаметрами 0,5 и 1,2 мм. Сварка концов термопар производилась в графитовой ванне или на графитовом электроде путем кратковременного зажигания дуги. Были сварены ряд термопар и из них по результатам визуального контроля отобраны термопары с наиболее качественной сваркой (качественный контроль).

Все соединения в системе измерения выполнены хромелевым и алюмелевым проводом диаметром 0,5 мм.

Измерительный прибор — прецизионный милливольтметр собран на основе микросхемы ATtiny2313 фирмы Atmel, представляющий собой 8-разрядный микроконтроллер RISC архитектуры. Микроконтроллер выполняет следующие задачи:

— предоставление интерфейса для работы с микросхемой AD7714 (24-разрядный сигма-дельта АЦП фирмы Analog Devices), к которой подключен первичный преобразователь температуры (термопара). Схема включения стандартная, взятая из технического описания на микросхему;

— вывод информации на 8-разрядный светодиодный индикатор, работающий в динамическом режиме. Узел собран на двух микросхемах серии 74НС595.

Количественная характеристика качества работы используемой системы измерения температуры с помощью термопар определена путем сравнения показаний, полученных с их помощью, с температурами:

— в диапазоне 0...100 °С при нагреве воды и замере ее температуры ртутным термометром ТН-2 (ГОСТ 400-64, цена деления 1 °С, диапазон измерений 0...360 °С);

— в диапазоне 200...700 °С на основе температур плавления химически чистых металлов (олово — 231,9; свинец — 327,4; цинк — 419,5; алюминий — 660,1 °С).

Во всех случаях температура холодного спая термопар обеспечивалась с помощью теплоизолированной ванны с водой и льдом. Стабилизация температуры на уровне 0 °С контролировалась ртутным термометром ТЛ-2 (ГОСТ 215-73, цена деления 1 °С, диапазон измерений -30...+70 °С).

Нагрев воды производился в теплоизолированной емкости. Достигалась стабилизация температуры (по ртутному термометру) на определенном уровне (от 40 до 100 °С через 10°) и фиксировался ряд (13 шт) значений температур, замеренных с помощью термопар и цифровой системы измерения на каждом уровне. Количество фиксируемых значений выбиралось из следующих соображений: не менее 10 как минимальная представительная выборка или более 10 на случай исключения выскакивающих (выпадающих) значений.

Гранулированные металлы плавилась с помещенными в них термопарами в теплоизолированных тиглях. Отслеживалась стадия плавления металла (постоянство температуры), а затем начало нагрева расплавленного металла (рост температуры). После этого выключался нагреватель и фиксировались показания системы измерения на стадиях охлаждения расплавленного металла (снижение температуры), затвердевания металла (постоянство температуры) и охлаждения затвердевшего металла (дальнейшее снижение температуры).

На графике (рис. 1) приведена характерная кривая, отображающая изменение термоэлектродвижущей силы (ε , мВ) при затвердевании алюминия для термопары диаметром 0,5 мм. Для сравнения утолщенной линией на графике изображена номинальная статическая характеристика (НСХ) для термопары типа К (хромель-алюмель) при температуре плавления алюминия [2]. По оси абсцисс откладывается последовательность отсчетов во времени n без соблюдения определенных временных интервалов.

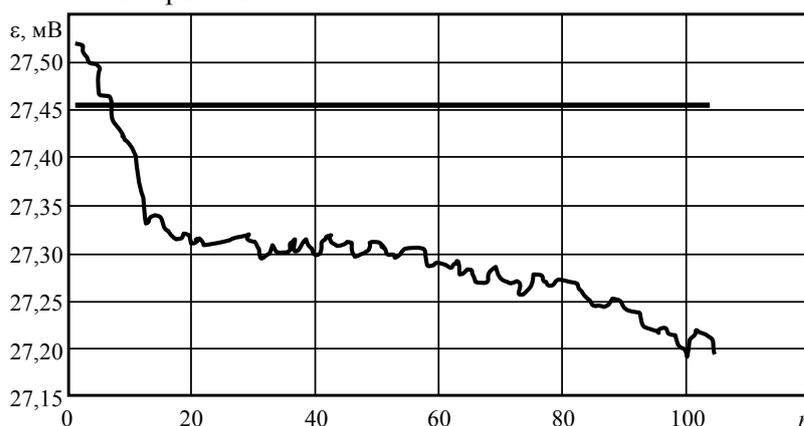


Рис. 1. Характерная кривая, отображающая изменение термоэлектродвижущей силы при затвердевании алюминия

При проведенні експериментальних досліджень були виявлені ряд термопар, термо-ЕДС яких на графіку не мала горизонтального участка и не соответствовала характерной зависимости (рис. 2). Кроме того, их термоЭДС по величине была существенно ниже, отображенной на рисунке 1. Такие термопары были квалифицированы как некачественные и удалены из дальнейшего рассмотрения.

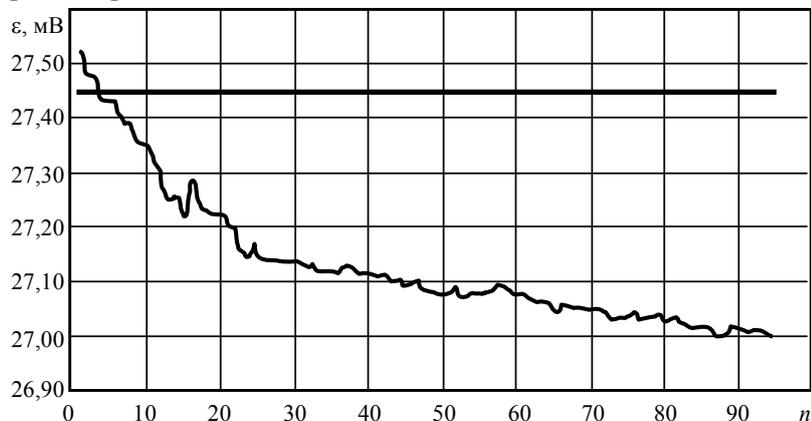


Рис. 2. Характерная кривая, отображающая показания некачественной термопары

Для подтверждения возможности количественной оценки качества сварки термопар выполнены измерения температуры плавления алюминия термопарами, рабочий конец которых не сваривался, а только скручивался. Характерные результаты приведены на графике (рис. 3).

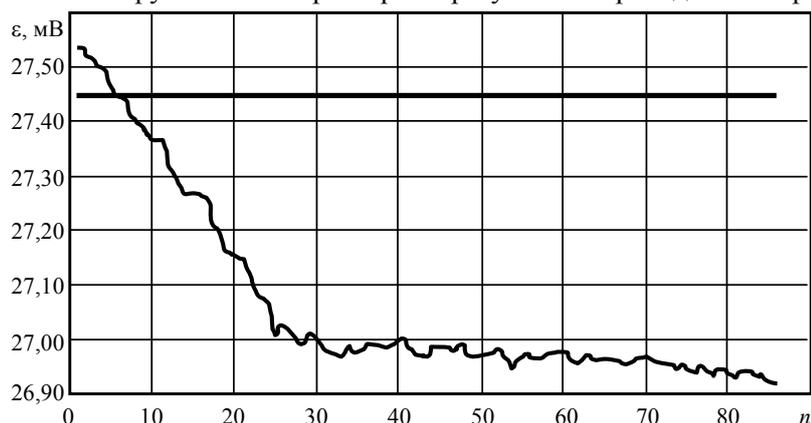


Рис. 3. Характерная кривая, отображающая показания термопары без сварки

Можно выделить горизонтальный участок, соответствующий затвердеванию металла, но величина термоЭДС в этом случае еще ниже, нежели в случае некачественной сварки (см. рисунок 2). Таким образом, замер температур в опорных точках (температура плавления металла) позволяет не только протарировать измерительный канал, но и дает возможность выявить некачественно изготовленные термопары.

На горизонтальном участке графиков изменения термоЭДС качественных термопар отбиралось по 13 последовательных замеров для дальнейшей обработки. Для замеров температур по каждой рассматриваемой точке (при нагреве воды и при плавлении металлов) использовалось по 10 термопар каждого размера (диаметрами 0,5 и 1,2 мм.). Для каждой термопары и каждой температуры проводилась предварительная обработка замеров: проверялось наличие выскакивающих значений (по методу варьирования размаха значений для уровня достоверности оценки 99 % [3]) и при их наличии они удалялись. Для каждой температуры находились средние зна-

чения по всем показаниям всех термопар одного из размеров. Все вычисленные значения оказались меньшими, нежели приведенные НСХ [2], что говорит о наличии систематической погрешности в измерениях.

В приложении В для термопар типа К указаны три возможных класса допуска по величине предела отклонений термоЭДС от НСХ [2]. Так, для I класса (с самыми жесткими условиями) в диапазоне температур $-40...+375$ °С это отклонение не должно превосходить $\pm 1,5$ град., а в диапазоне $+375...+1300$ °С — $\pm 0,004 t$. Здесь t — измеренная температура, °С. В соответствии с этим систематическая погрешность также определялась в двух диапазонах: в первом как абсолютная, во втором как относительная. Для того, чтобы во второй диапазон попало три точки измерений, граница была сдвинута с 375 до 327 °С (температура плавления свинца). Вычислены отклонения полученных значений температур $T_{НСХ}$ от величин, определяемых по НСХ. Термопары типа К обладают характеристикой, наиболее близкой к линейной среди всех других типов термопар. В связи с этим для аппроксимации отклонений были выбраны также линейные функции.

В таблице приведены аппроксимационные зависимости, полученные для двух рассматриваемых размеров термопар с учетом вычисленных систематических погрешностей. При этом во всех случаях абсолютные погрешности не превосходят допустимых величин для I класса допуска.

Аппроксимационные зависимости и полученные с их помощью погрешности измерений

Толщина термопары, мм	Диапазон измерений, °С	Аппроксимационные зависимости	Максимальная погрешность экспериментальных данных, °С
0,5	от 0 до 327	$T=T_{НСХ}+2,2$	$\pm 1,3$
	от 327 до 700	$T=1,01 \times T_{НСХ}$	$\pm 0,5$
1,2	от 0 до 327	$T=T_{НСХ}+2,4$	$\pm 1,4$
	от 327 до 700	$T=1,005 \times T_{НСХ}$	$\pm 1,1$

Выводы:

— при использовании измерительной системы возникает систематическая погрешность, величина которой ведет к уменьшению измеряемой величины по сравнению с НСХ;

— полученные экспериментальные данные позволяют построить аппроксимационные зависимости, учитывающие влияние систематической погрешности. Точность вычисляемых с их помощью величин соответствует I классу допуска [2];

— учет систематической погрешности и сравнение замеряемых температур плавления тестовых металлов с соответствующими величинами НСХ позволяет оценить качество изготовления термопар и качество всей измерительной системы.

Литература

1. Бондаренко, А.В. Стенд для исследования динамики коэффициента излучения твердых тел при длительном нагреве. Информационные технологии и автоматизация — 2012 / А.В. Бондаренко, А.И. Брунеткин, А. Вальтер // V всеукр. науч.-практ. конф., Одесса; 10-11 окт. 2012г. — Одесса, 2012. — С. 21 — 22.
2. ГОСТ Р 8.585-2001. Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования. — М.: Изд-во стандартов, 2002. — 78 с.
3. Ашмарин, И.П. Быстрые методы обработки и планирования экспериментов / И.П. Ашмарин, Н.Н. Васильев, В.А. Амбросов. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. — 76 с.

References

1. Bondarenko, A.V. Stend dlya issledovaniya dinamiki koeffitsiyenta izlucheniya tverdykh tel pri dlitel'nom nagreve. Informatsionnyye tekhnologii i avtomatizitsiya — 2012 [Stand for Studying the Dynamics of the Emissivity of Solids during Prolonged Heating. Information Technology and Automating —

- 2012] / A.V. Bondarenko, A.I. Brunetkin, A. Valter // V vseukr. nauch.-prakt. konf. [Vth All-Ukrainian Scientific and Practical Conf.], Odessa; 10-11 okt. 2012g. — Odessa, 2012. — S. 21 — 22.
2. GOST R 8.585-2001. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy. Termopary. Nominalnyye staticheskiye kharakteristiki preobrazovaniya. [State System for Ensuring the Uniformity of Measurements. Thermocouples. Nominal Static Characteristics of the Transformation] — M.: Izd-vo standartov, 2002. — 78 s.
3. Ashmarin I.P. Bystryye metody obrabotki i planirovaniya eksperimentov [Fast Methods of Processing and Planning Experiments] / I.P. Ashmarin, N.N. Vasilyev, V.A. Ambrosov. — L.: Izd-vo Leningr. un-ta, 1974. — 76 s.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Максимов М.В.

Поступила в редакцию 10 октября 2012 г.

УДК 681.5.08

Г.Н. Ковшов, д-р техн. наук, проф.,
Л.И. Живцова, специалист,
ГВУЗ “Приднепров. гос. акад. стр-ва и архитекту-
ры”, г. Днепропетровск

ДАТЧИК НАКЛОНА ИНКЛИНОМЕТРА НА ОСНОВЕ ЖИДКОСТНОГО УРОВНЯ

Г.М. Ковшов, Л.И. Живцова. Датчик нахилу інклінометра на основі рідинного рівня. Запропоновано конструкцію датчика нахилу інклінометра на основі рідинного рівня, кільцеподібної форми. Складено статичну математичну модель з використанням матричних методів і динамічну математичну модель на основі рівняння Лагранжа II роду.

Ключові слова: датчик нахилу, математична модель, поріг чутливості, зенітний кут, візирний кут.

Г.Н. Ковшов, Л.И. Живцова. Датчик наклона инклинометра на основе жидкостного уровня. Предложена кольцеобразная конструкция датчика наклона инклинометра на основе жидкостного уровня. Составлена статическая математическая модель с использованием матричных методов и динамическая математическая модель на основе уравнения Лагранжа II рода.

Ключевые слова: датчик наклона, математическая модель, порог чувствительности, зенитный угол, визирный угол.

G.N. Kovchov, L.I. Zhivtsova. Inclinometer tilt sensor based on liquid level tube. The annular design of a tilt sensor inclinometer based on liquid level tube is proposed. Astatic mathematical model is compiled using matrix methods, as well as the dynamic mathematical model based on the Lagrange equation of type II.

Keywords: tilt sensor, mathematical model, sensitivity threshold; zenith angle, sighting angle.

Создание современных информационно-измерительных систем контроля пространственного положения наклонно-направленных скважин требует усовершенствования инклинометрических преобразователей, предназначенных для измерения в процессе бурения азимута, зенитного угла наклона скважины, угла установки отклонителя. Как правило, в основу инклинометрических преобразователей наклона положены чувствительные элементы на основе маятника [1] или инерционной массы [2]. Большинство таких преобразователей обладают невысокой