
СЕКЦИЯ №3

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ В АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛЯХ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ТЕРМОЭДС

Абуеллаиль А.А., Обач И.И., Сорокин П.В.

Научный руководитель: Солдатов А.А., профессор, д.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: demo_092@icloud.com

INVESTIGATION OF THERMOCOUPLES ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Abouellail A.A., Obach I.I., Sorokin P.V.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Soldatov A.A.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: demo_092@gmail.com

В этой статье продемонстрированы результаты экспериментальных исследований электрических характеристик термопар. Измерения проводились с использованием различных типов термоэлементов, каждая из них была изучена в одиночном и параллельном включении, что эквивалентно многоточечному контакту горячего электрода с контролируемой поверхностью. В исследовании были использованы термопары хромель-алюмель и нихром-константан. Термоэлектрические характеристики были измерены в температурном диапазоне 160° – 400° по Цельсию для определения оптимальной температуры горячего электрода. Кроме того, было исследовано влияние сопротивления нагрузки в диапазоне от 1 Ом до 10 кОм на электрические характеристики термопар. В дальнейшем эти характеристики помогут определить требования к усилителям термоЭДС.

This paper demonstrates the outcome of experimental studies on thermoelectric characteristics of thermocouples. Measurements were carried out using different types of thermocouples; each studied alone then investigated when they are connected in parallel, in order to simulate the imperfect nature of the various multi-contact surface of the tested object. The investigated types were Chromel-Alumel and Nichrome-Constantan. The thermoelectric characteristics were measured at the temperature range 160° – 400° Celsius, in order to identify the best operating temperature for the hot electrode. Furthermore, the load resistance is another important factor that has been investigated and therefore varied from 1 Ω to 10 k Ω , in order to determine its effect on the electrical characteristics of thermocouples. Accordingly, these characteristics will help defining the requirements for thermoelectric power amplifiers.

Введение

Термоэлектрический метод довольно широко применяется в неразрушающем контроле металлов и сплавов. Но на результат контроля влияет неоднородность и шероховатость исследуемой поверхности, вследствие чего контакт получается многоточечным. Влияние качества исследуемой поверхности на результат контроля отражено в работе [1]. Многоточечный контакт приводит в эквивалентной схеме к параллельному соединению нескольких термопар, имеющих различные характеристики за счет локальных колебаний химического состава исследуемого металла или сплава.

Для того, чтобы учитывать влияние термопар на результаты контроля, нужно изучить их характеристики. Анализ литературы показал, что до настоящего времени не проводились исследования характеристик источника термоЭДС. Учет этих характеристик и степени влияния выше перечисленных факторов позволит существенно повысить технические характеристики приборов термоэлектрического контроля.

Исследование

В данной работе были исследованы характеристики нескольких термопар в диапазоне (160 – 400)°С. Были исследованы характеристики термопар хромель-алюмель, нихром-константан и их параллельное соединение.

Экспериментальная установка, структурная схема которой приведена на рис. 1, состоит из:

- 1) Термокамеры;
- 2) Термопары (хромель-алюмель, нихром-константан);
- 3) Сопротивления нагрузки (номиналом 1 Ом; 5,2 Ом; 10 Ом; 100 Ом; 1000 Ом; 10 кОм);
- 4) Измерительные приборы (вольтметр и амперметр).

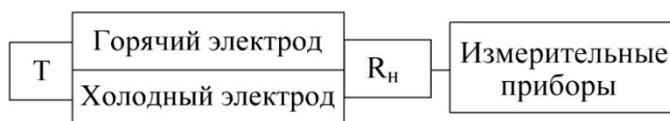


Рис. 1. Структурная схема эксперимента

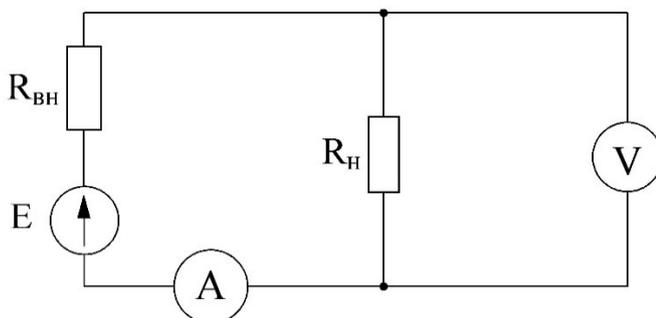


Рис. 2. Принципиальная схема эксперимента

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис. 2. Термопара представлена в схеме (рис. 2) как источник напряжения E с внутренним сопротивлением $R_{вн}$. В ходе эксперимента производился поочередный нагрев термопары № 1 (нихром-константан) и термопары № 2 (хромель-алюмель) в термокамере при температуре от (160 – 400) °С. В ходе исследований измерялось падение напряжения на сопротивлении нагрузки R_n . Измерения производились в одиночном и в параллельном включении термопар, с сопротивлением нагрузки R_n номиналом (1 Ом; 5,2 Ом; 10 Ом; 100 Ом; 1000 Ом; 10 кОм). Затем проводился расчет термоЭДС, внутреннего сопротивления $R_{вн}$, тока в цепи I , максимальной мощности P , по формулам, представленным ниже.

E – источник термоЭДС, $R_{вн}$ – внутреннее сопротивление, R_n – сопротивление нагрузки

Методика расчета внутреннего сопротивления источника термоЭДС $R_{вн}$

Из второго закона Кирхгофа [2] сумма ЭДС в контуре равна сумме падений напряжений на сопротивлении, поэтому:

$$E = U_{вн} + U_n = IR_{вн} + IR_n \quad (1)$$

где: E – термоЭДС, $U_{вн}$ – падение напряжения на внутреннем сопротивлении, U_n – напряжение на нагрузке.

Преобразовав выражение (1), получим:

$$R_{вн} = \frac{E - IR_n}{I}$$

Е будет максимальным при условии холостого хода:

$$E = E_{\max} = U_{n_{xx}}$$

где: E– термоЭДС, E_{\max} – максимальное измеренное термоЭДС, $U_{n_{xx}}$ – напряжение нагрузки холостого хода.

Результаты измерения напряжения на нагрузке для четырех значений температуры представлены на рис. 3. Рис. 3, а отображает результаты исследования термопары хромель-алюмель. Рис. 3, б отображает результаты исследования термопары нихром-константан. А на рис.3, в показан случай их параллельного соединения.

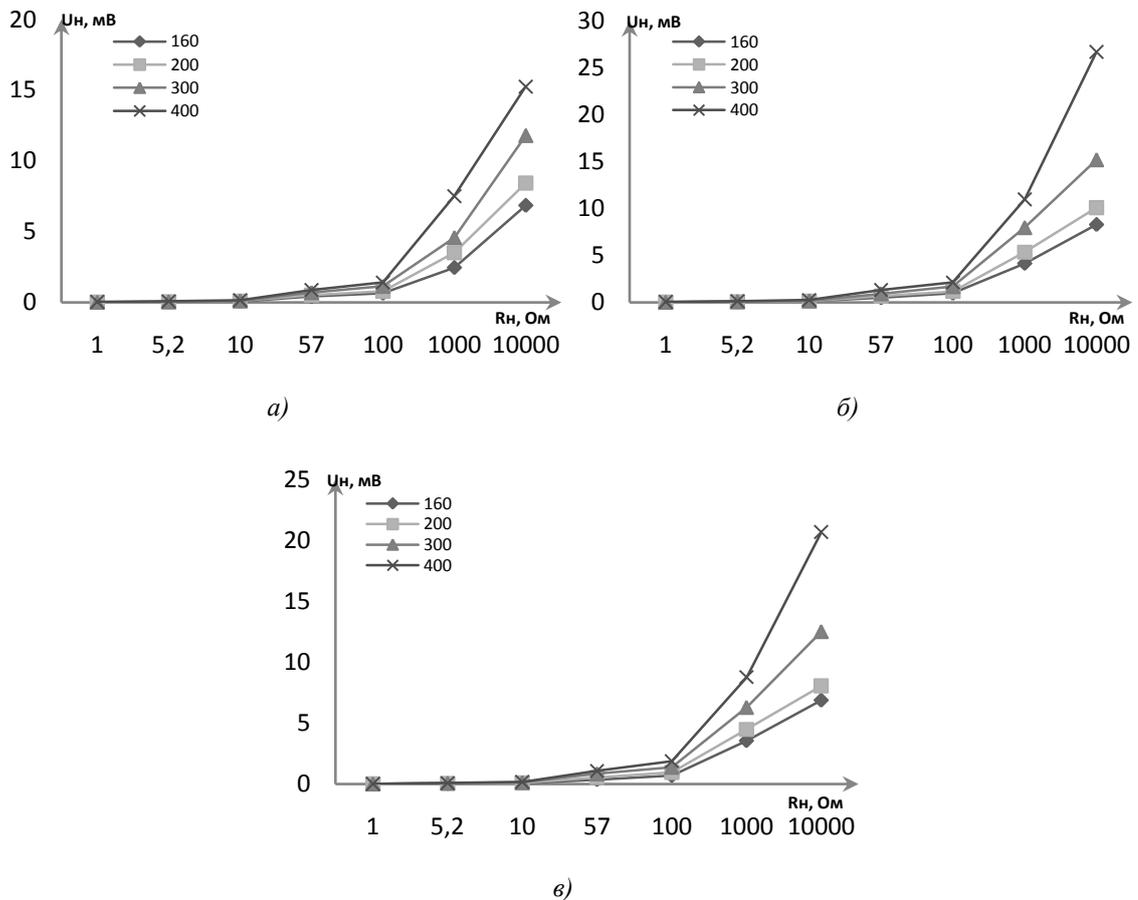


Рис. 3. Зависимость напряжения на нагрузке от сопротивления нагрузки для различных термопар при температуре (160–400)°С градусов: а) хромель-алюмель б) нихром-константан в) параллельное соединение хромель-алюмель и нихром-константан

Как видно из графиков с увеличением R_n напряжение на нагрузке увеличивается, приближаясь к значению термоЭДС при холостом ходе. С увеличением температуры значение U_n увеличивается вследствие увеличения термоЭДС, которое пропорционально температуре.

Результаты расчета внутреннего сопротивления источника термоЭДС от сопротивления нагрузки представлены на рис. 4. На рис. 4, а приведены результаты расчета внутреннего сопротивления источника термоЭДС, образованного термопарой хромель-алюмель. На рис. 4, б приведены результаты расчета внутреннего сопротивления термопары нихром-константан и на рис. 4, в приведены результаты расчета внутреннего сопротивления эквивалентного источника, образованного параллельным подключением термопар нихром-константан и хромель-алюмель.

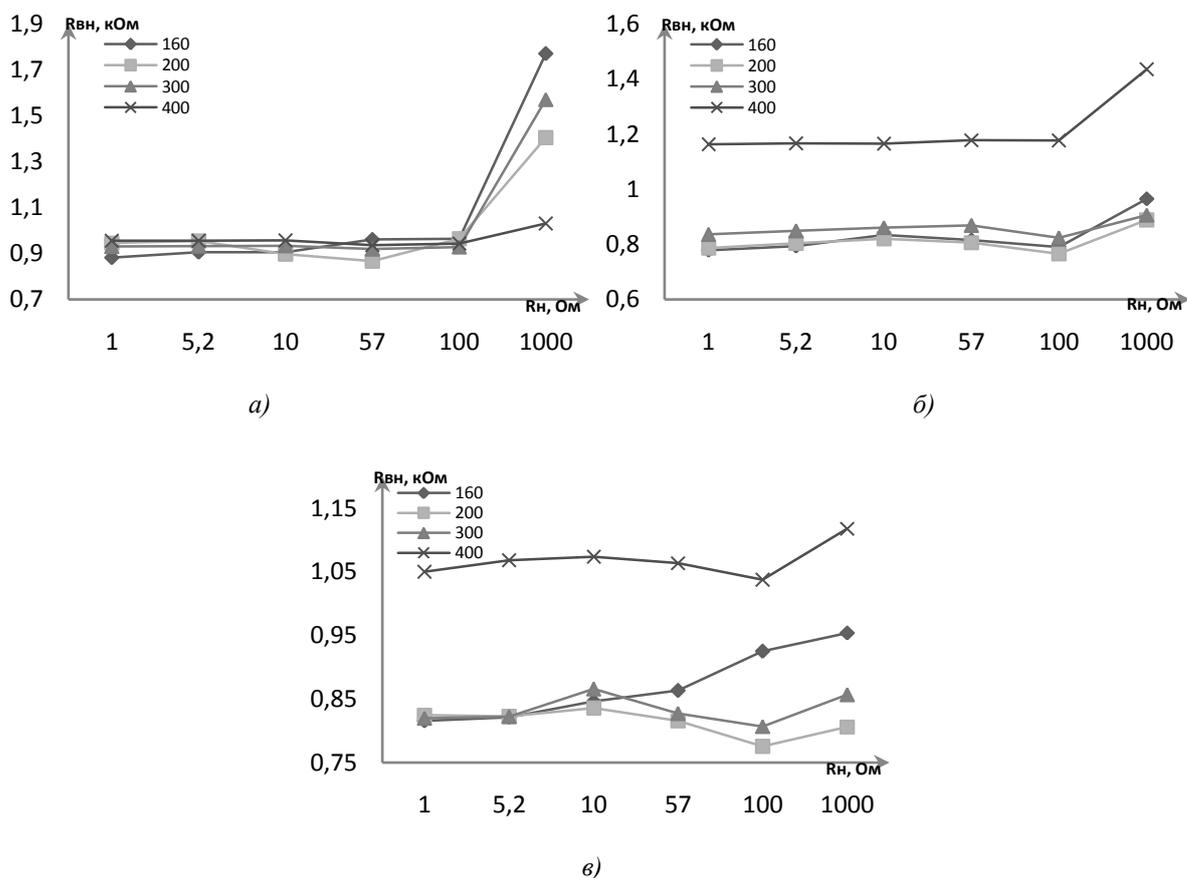


Рис. 4. Зависимость внутреннего сопротивления термопар от сопротивления нагрузки при температуре (160°–400°)С градусов а) хромель-алюмель б) нихром-константан в) параллельное соединение хромель-алюмель и нихром-константан

Из рисунков можно сделать вывод, что с ростом сопротивления нагрузки увеличивается внутреннее сопротивление. Кроме того, из рис. 4, в можно сделать вывод о том, что при параллельном соединении термопар эквивалентное внутреннее сопротивление равно среднему значению внутреннего сопротивления термопар хромель-алюмель и нихром-константан.

Методика расчета мощности источника термоЭДС P_{max}

Мощность определяется из выражения [3]

$$P = I^2 R_n \quad (2)$$

где I – ток , R_n – сопротивление нагрузки

Из рис. 2 найдем ток в цепи:

$$I = \frac{E}{R_{вн} + R_n} \quad (3)$$

Теперь подставим значение I из формулы (2) в формулу (3) и получаем:

$$P = \frac{E^2 \times R_n}{(R_{вн} + R_n)^2}$$

Для поиска точки максимума возьмём производную от R_n

$$\frac{dP}{dR_n} = \frac{E^2 (R_{вн} + R_n)^2 - 2E^2 R_n (R_{вн} + R_n)}{(R_{вн} + R_n)^4}$$

После объединения общих слагаемых получаем:

$$\frac{dP}{dR_n} = E^2 \frac{(R_{вн}^2 - R_n^2)}{(R_{вн} + R_n)^4}$$

Е не может быть равно 0, $R_{вн}$ не может иметь отрицательное значение. Это означает, что есть только одно решение:

$$(R_{вн}^2 - R_n^2) = 0$$

И получаем, что точка максимума P будет при выполнении условия $R_{вн} = R_n$.

И как видно на рис. 5, эксперимент подтверждается расчётами, приведенными выше. Максимальное значение мощности наблюдается при $R_{вн} = R_n$.

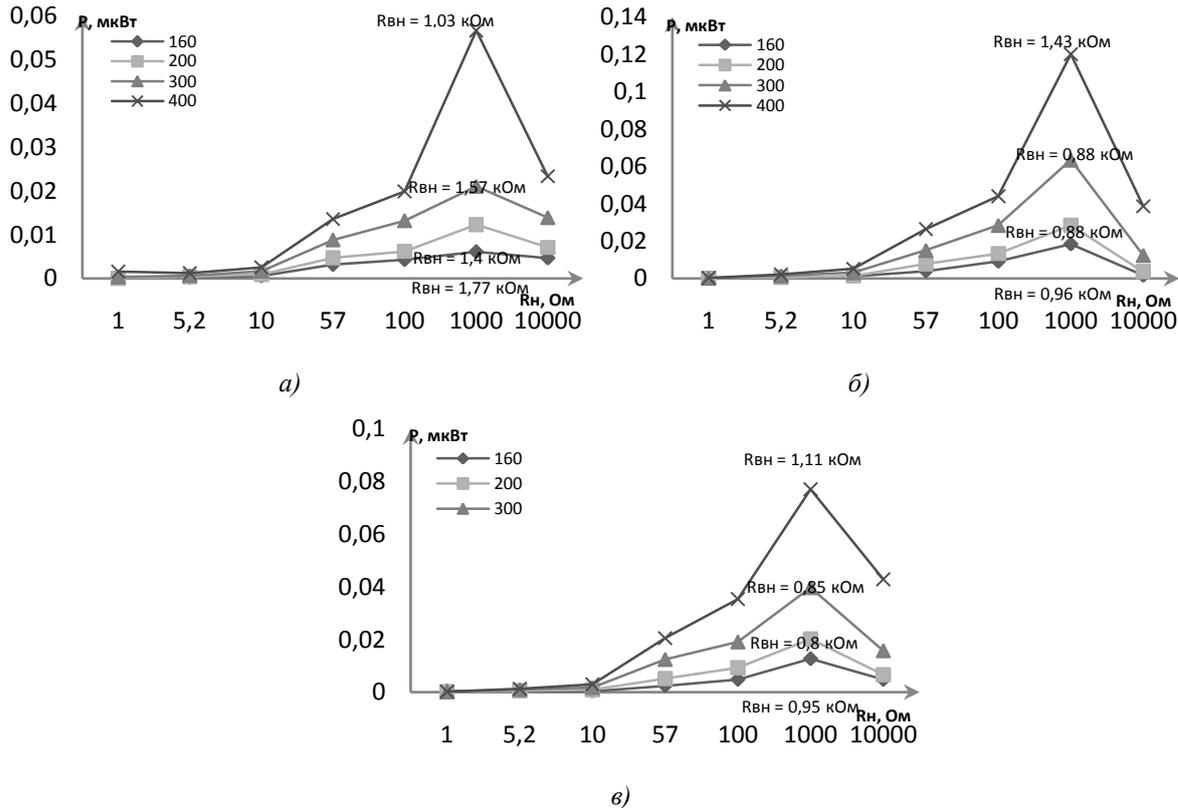


Рис. 5. Зависимость мощности источников термоЭДС от сопротивления нагрузки при температуре (160–400)°C градусов а) хромель-алюмель б) нихром-константан в) параллельное соединение хромель-алюмель и нихром-константан

Заключение

В рамках данной статьи были проведены исследования электрических характеристик двух источников термоЭДС и их параллельного соединения, для изучения влияния многоточечного контакта электрода с контролируемым образцом в приборах термоэлектрического контроля.

Было проведено исследование параллельного включения термопар. Благодаря которому стало понятно, что при параллельном соединении термопар, такие характеристики как внутреннее сопротивление, мощность и термоЭДС эквивалентны средним значениям термопар, хромель-алюмель и нихром-константан при одиночном включении.

Также было выяснено из эксперимента, что самое оптимальное сопротивление нагрузки для источников термоЭДС равно 1 кОм. При этом сопротивлении $R_{вн}=R_n$ и мощность источника термоЭДС

самая большая. Выбор этого сопротивления позволит улучшить точность измерения приборов термоэлектрического контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солдатов А.А. Аппаратно-программный комплекс для контроля пластически деформированных металлов дифференциальным термоэлектрическим методом. дис. канд. техн. наук / А.А. Солдатов. – Томск: ТПУ, 2014. – 155 с.
2. Oldham, Kalil T. Swain (2008). The doctrine of description: Gustav Kirchhoff, classical physics, and the "purpose of all science" in 19th-century Germany (Ph. D.). University of California, Berkeley. p.52. Docket 3331743.
3. Croft, Terrell; Summers, Wilford I. (1987). American Electricians' Handbook (Eleventh ed.). New York: McGrawHill. ISBN 0-07-013932-6.

ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Ананьева Е.С.

Научный руководитель: Бритова Ю.А., ассистент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: elena_girl_16@mail.ru

DEVICES FOR VIBRATION TESTS OF PRODUCTS FOR INFLUENCE OF MECHANICAL FACTORS

Ananyeva E.S.

Scientific Supervisor: Ph.D. Britova Yu.A.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: elena_girl_16@mail.ru

Электромеханические и электротехнические изделия должны сохранять свои параметры в пределах норм, установленных в техническом задании или стандартах, в процессе и после воздействия механических и климатических факторов. Для обеспечения высокого качества выпускаемой продукции различного назначения предприятия-разработчики проводят вибрационные испытания на воздействие механических факторов посредством современного испытательного оборудования – электродинамических вибростендов.

Electromechanical and electrotechnical products have to keep the parameters within the norms established in the specification or standards in process and after influence of mechanical and climatic factors. For quality providing products of different function the enterprise developers carry out vibration tests for influence of mechanical factors by means of the modern test equipment – electrodynamic vibrostands.

На современном рынке испытательного оборудования представлен широкий выбор вибростендов как российского, так и зарубежного производства. Вибростенды бывают электромеханическими и электродинамическими.

Схема, отражающая принцип действия электродинамического вибростенда, представлена на рис 1.

Сигнал, генерируемый системой управления, подается на усилитель. Затем усиленный сигнал передается на актюатор. В актюаторе электрический сигнал преобразуется в механическое перемещение стола вибростенда, обеспечивая необходимую частоту и амплитуду колебаний. Ускорение колебаний преобразуется снова в электрический сигнал акселерометром и передается на входной канал системы управления в качестве сигнала обратной связи. С помощью данного сигнала минимизируется ошибка