

УДК 681.2.08

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕРМО-ЭДС ТЕРМОПАР

Мороз А. С.¹, Фролов Н. Н.², Тявловский А. К.¹

¹Белорусский национальный технический университет

²ОАО «Фалькон групп»

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В данном докладе рассмотрены возможность применения линейной нейросети для компенсации дрейфа термоэлектродвижущей силы (термо-ЭДС) термопары типа ТХА (тип К). Компенсация изменения термо-ЭДС обеспечивается за счет подстроенных весовых коэффициентов линейной нейросети в блоке обработки нормирующим преобразователем сигналов термопары, но основании большой выборки измерений сравнения результатов измерения.

Ключевые слова: термопара, датчик, нейросеть.

THE USE OF NEURAL NETWORKS TO INCREASE THE ACCURACY OF MEASURING THERMAL EMF OF THERMOCOUPLES

Maroz A., Frolov N., Tyavlovsky K.

Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. In this report, the possibility of using a linear neural network to compensate for the drift of the thermoelectromotive force (thermo-EMF) of a thermocouple type TNA (type K) is considered. Compensation for changes in the temperature of the EMF is provided by adjusted weighting coefficients of the linear neural network in the processing unit with a normalizing converter of thermocouple signals, based on a large sample of measurements comparing the measurement results.

Key words: thermocouple, sensor, neural network.

Адрес для переписки: Мороз А. С., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: artur.moroz.97@mail.ru

Термопара хромель-алюмель ТХА (тип К) – самая распространенная в промышленности. В термопарах ТХА наблюдаются два вида нестабильности термо-ЭДС: необратимая нестабильность постепенно накапливающаяся со временем (длительная, кумулятивная), и обратимая нестабильность (циклическая, кратковременная), [1].

Необратимая нестабильность термопары типа ТХА в основном подвержена взаимодействию с окружающей средой. Особенно заметно изменение термо-ЭДС при работе термопар ТХА при температурах, начиная с ~600°C в течении ~1000 ч.

Стабильность в окислительных средах. При эксплуатации термопары типа ТХА на воздухе и в других окислительных средах (особенно с высоким содержанием кислорода) наблюдается необратимое возрастание ее термо-ЭДС. Только в некоторых случаях при 500°C наблюдается отсутствие дрейфа термо-ЭДС. Величина дрейфа термо-ЭДС растет с увеличением температуры и времени эксплуатации, график изменения представлены на рисунке 1, а [1].

Обратимая нестабильность термопары типа ТХА в основном обусловлена протеканием в хромеле превращений по типу ближнего упорядочения в интервале температур 250–550°C, [1], измерение представлено на рисунке 1, б.

Величина обратимого дрейфа зависит от предыдущей истории термоэлектродов, температур градуировки, скорости охлаждения, а также от градиента температурного поля в котором

находится термопара. Обратимый дрейф очень трудно отличить от необратимой нестабильности термо-ЭДС. При использовании классических методов измерения и нормализации значений термо-ЭДС, практически невозможно исключить обратимый дрейф (влияние порядка 3–5°C на конечный результат измерений), [2].

Исследования нестабильности термо-ЭДС и его дрейфа неоднократно подвергаются изучению, например, [3, 4].

Компенсация обратимых изменений термо-ЭДС термопары типа ТХА линейной нейросетью. Для заданной линейной сети и соответствующим множествам вектором входа и целей можно вычислить вектор выхода сети и сформировать разность между векторами выхода и целевым вектором, который определяет некоторую погрешность обучения.

Обратимые нестабильности термо-ЭДС термопар возможно компенсировать применением линейной нейросетью при обработке первичных измеренных данных до момента линейризации сигнала, чтобы исключить дополнительные ошибки.

Подобрав нужные весовые коэффициенты линейной нейросети для компенсации обратимой нестабильности, термо-ЭДС термопары. И прогнозируемых условиях были получены результаты сравнения отклонения разных образцов и граничных условий от эталонного полинома термопары типа ТХА результаты представлены на рисунке 1, б.

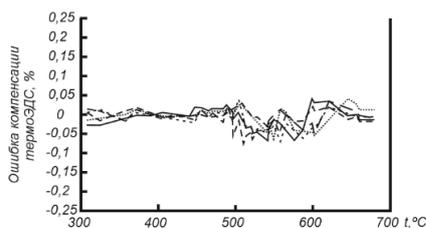


Рисунок 2 – Сравнение отклонения от эталонной градуировочной характеристики термопар хромель–алюмель (ТХА) при использовании линейной нейросети

По предварительным данным возможно полностью компенсировать обратимую нестабильность термоЭДС термопар типа ТХА в пределах 0,5 % от эталонной градуировочной характеристики.

Компенсация необратимой нестабильности термопары типа ТХА. Необратимые нестабильности термоЭДС термопары типа ТХА слишком подвержена зависимости от внешних условий эксплуатации, состав атмосферы, средняя температура работы и разбегка химического состава термоэлектродов. Исключает возможность использования нейросети для универсального применения – будет слишком большая разница от места применения и может возникнуть дополнительная погрешность измерения при сильном расхождении условий эксплуатации и условий, заложенных при обучении нейросети.

Применение новых методов компенсации нестабильности термо-ЭДС в частности примене-

ния нейросетей повышает точности и стабильность измерения температуры с использованием самых распространенных термопар типа ТХА, и позволяет на существующей базе обеспечивать компенсацию обратимых изменений температуры (в среднем исключает погрешность до $\sim 3\text{--}5^\circ\text{C}$).

Это позволяет добиться повышения надежности измерительной системы и увеличивает достоверность результатов измерений при длительной работе.

Литература

1. Рогельберг, И. Л. Сплавы для термопар. Справочник / И. Л. Рогельберг, В. М. Бейлин. – М., Металлургия, 1983. – 360 с.
2. Мороз, А. С. Повышение точности и надежности нормирующего преобразователя сигналов термопар = Improving the accuracy and reliability of the normalizing thermocouple signal converter / А. С. Мороз, А. К. Тявловский // Приборостроение–2021 : материалы 14-й Международной научно-технической конференции, 17-19 ноября 2021 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 114–116.
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/109678>.
4. Hysteresis Effects and Strain-Induced Homogeneity Effects in Base Metal Thermocouples // Int J Thermophys. – 2015. – V. 36. – P. 467–481.
5. Keysight Technologies Практические советы по измерению температуры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://keysight/pdf/093fb8fba015b56725bdd2bd540e7bf.pdf>.

УДК 539.622

ДЕМПФИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ МАЯТНИКА

Ризноокая Н. Н., Париза И. А., Красневский Д. Ю., Абдулазиз Абдуллах Каид А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Предложен способ стабилизации колебаний маятников в одной плоскости с помощью жидкостного демпфирования. Приведена схема расположения демпфирующих элементов. Произведена оценка влияния демпферов на измерения коэффициента сопротивления качению.

Ключевые слова: трение качения, предварительное смещение, маятниковый метод

DAMPING OF PENDULUM OSCILLATIONS

Riznookaya N., Pariza I., Krasnevski D., Abdulaziz Abdullah Qaid A.

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. A method for stabilizing pendulum oscillations in one plane using liquid damping is proposed. A diagram of the arrangement of damping elements is provided. The effect of dampers on measurements of the rolling resistance coefficient is assessed.

Key words: rolling friction, pre-displacement, pendulum method.

Адрес для переписки: Ризноокая Н. Н., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: Riznookaya@bntu.by

Маятниковый метод является одним из самых чувствительных методов измерения трения качения [1, 2]. Наиболее перспективным для эксплуатации является маятник с опорой на один шарик [1]. Однако наряду с чувствительностью данный маятник характеризуется и рядом недостатков.

Маятник с опорой на один шарик может совершать колебания в неограниченном количестве плоскостей, тем самым затрудняя измерения параметров колебаний данного устройства. Для измерений оптимальным является, когда маятник совершает колебания в одной плоскости. Этого можно