

*А.С. ЖАГРОВ*, к.т.н., доц. Запорожская государственная инженерная академия

*С.И. КОНДРАШОВ*, д.т.н., проф. НТУ «ХПИ»

*В.Ю. ЛУЦЕНКО*, к.т.н., доц. Запорожская государственная инженерная академия

*Ю.С. ОСЕЛЕДЧИК*, д.ф.-м.н., проф., Запорожская государственная инженерная академия

## **ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ УСТАНОВЛЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РАВНОВЕСИЯ МЕЖДУ ТЕРМОПАРОЙ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ**

Запропоновано установку для досліджень нестационарних процесів установлення теплової рівноваги між термопарою і навколишнім середовищем, в якій реалізовано спосіб вимірювання термо-ЕРС при періодичному пропусканні електричного струму через спай термопари. Зареєстровано тепловий перехідний процес, обумовлений виділенням теплоти Пельтьє, і виявлено зв'язок між параметрами такого перехідного процесу і тепловими властивостями навколишнього середовища.

Installation for researches of non-stationary processes of an establishment of thermal balance between the thermocouple and an environment is offered. The method of measurement of thermo-EFM at periodic passing an electric current through the thermocouple is developed. Thermal transitive process caused by allocation of Peltier's heat is registered. Connection between parameters of such transient's processes and thermal properties of environments is established

**Введение.** Появление и развитие новых технологий сопровождается непрерывным совершенствованием технологического оборудования. Не является исключением и измерительные средства одного из наиболее распространенных технологических параметров – температуры. В последнее время во многих отраслях техники возрос интерес к вопросам исследования нестационарных процессов распространения тепла и изучения теплотехнических характеристик различных веществ, что вызывает потребность в быстродействующих высокоточных температурных сенсорах.[1] Применение термопар для решения этих задач в первую очередь ограничивается их невысокой температурной чувствительностью. В то же время простота этих датчиков, высокая надежность, малая тепловая инерционность, возможность измерения разности температур являются весомыми преимуществами применения термопар в ходе динамических измерений температуры и температурных полей.

Повышение точности измерения температуры с помощью термопары в первую очередь требует увеличения чувствительности измерительных схем и учета особенностей теплового взаимодействия термопары

с окружающей средой. [2] Снижение порога чувствительности термоэлектрических термометров представляется возможным за счет введение в состав измерительного канала коммутационных преобразователей. [3] Основными преимуществами таких преобразователей являются высокое значение коэффициента преобразования и возможность реализации многотактовых измерительных процессов, в ходе которых, за счет пропуска импульсного электрического тока через спаи термопары, формируются тепловые тестовые воздействия. [4] Выделение теплоты Пельтье в спаих термопары обуславливает появления разности в их температуре, о чем свидетельствует возникающая термо-ЭДС. Временная зависимость этой термо-ЭДС является следствием установления теплового равновесия и определяется как параметрами термопары, так и тепловыми свойствами окружающей среды.

**Описание измерительной установки.** В основе предлагаемой измерительной установки лежит одноканальный коммутационный преобразователь, тестовые испытания которого подтвердили возможность регистрации значения термо-ЭДС с ошибкой, не превышающей  $\pm 150 \text{ нВ}$  при длительности одного измерения 20 мс. Блок-схема этой установки представлена на рис. 1.

Коммутационный преобразователь построен на базе трансформатора с тремя обмотками – Т1. Коммутационное преобразование постоянного сигнала термо-ЭДС происходит за два такта. В течение первого такта полевые транзисторы VT1 и VT2 замкнуты и в измерительном контуре протекает постоянный ток, обусловленный наличием термо-ЭДС. На втором такте ключи размыкаются, и происходит формирование короткого переходного импульса. Амплитуда первой полуволны этого сигнала в  $\sim 10^3$  раз превышает значение действующей в измерительном контуре термо-ЭДС, что и объясняет повышение чувствительности измерительной схемы. Функционирование коммутационного преобразователя рассмотрено в [5,6].

Выходной сигнал коммутационного преобразователя после предварительного усиления подается на вход устройства выборки и хранения – УВХ, а затем на вход АЦП. Работой АЦП управляет микроконтроллер, который также обеспечивает передачу измерительной информации в ЭВМ.

В измерительной установке реализован нулевой метод измерения. Действующая в измерительном контуре термо-ЭДС, компенсируется падением напряжения на сопротивлении  $R_3$ , которое создается за счет пропуска через него электрического тока от внешнего источника – ЦАП 2. Значение измеряемой термо-ЭДС, в этом случае, определяется расчетным путем.

При необходимости непосредственной оценки значения термо-ЭДС, последнее получается в результате аналого-цифрового преобразования. В этом режиме напряжение на сопротивлении  $R_4$ ,

создаваемое за счет пропускания через него электрического тока от внешнего источника – ЦАП 1, используется в качестве калибровочного сигнала, что позволяет определять коэффициент преобразования измерительного и, следовательно, представлять результат аналого-цифрового преобразования уже в единицах напряжения (мкВ). С целью уменьшения влияния внешних сетевых наводок и повышения точности измерений в состав измерительной установки включен блок синхронизации, с помощью которого реализуется синхронизация измерительного процесс с частотой питающей сети.

Наличие в составе установки токового инвертора позволяет пропускать импульсы тока через спай термопары. Для уменьшения влияния дрейфа характеристик ключей и возникновения паразитных термо-ЭДС в контактах между проводниками коммутационный преобразователь размещался внутри термостата.

Измерение термо-ЭДС в режиме протекания через термопару внешнего электрического тока содержит два такта и составляет два периода синхронизирующей частоты (40 мс). На первом такте в течение первого периода синхронизирующей частоты через термопару пропускаются импульсы тока. В течение второго такта (второй период синхронизирующей частоты) токовые импульсы не пропускаются, в сигнальном контуре начинает протекать ток, обусловленный наличием только термо-ЭДС. При размыкании ключей – VT1, VT2 появляется выходной сигнал, который регистрируется с помощью АЦП, после чего процесс повторяется снова.

Процесс регистрации теплового переходного процесса состоит в следующем. В течение первых 256 периодов синхронизирующего сигнала через термопару пропускаются положительные однополярные импульсы тока (рис.2в). После каждого периода пропускания тока следует период измерения термо-ЭДС. Затем конфигурация токовых импульсов изменяется так, чтобы постоянная составляющая за период пропускания токовых импульсов равнялась нулю (рис. 2.б). Термопара при такой конфигурации токовых импульсов начинает приходить в состояние теплового равновесия. Этот токовый режим также занимает 256 периодов синхронизирующей частоты. В течение следующих 256 периодов синхронизирующей частоты через термопару пропускаются отрицательные однополярные импульсы (рис. 2.г). Спай, который первоначально нагревался, начинает охлаждаться, а спай, который охлаждался – нагреваться. Термо-ЭДС меняет знак. В течение следующих 256 периодов синхронизирующей частоты пропускается следящий ток (рис. 2.б) и термопара вновь приходит к тепловому равновесию, и т.д.

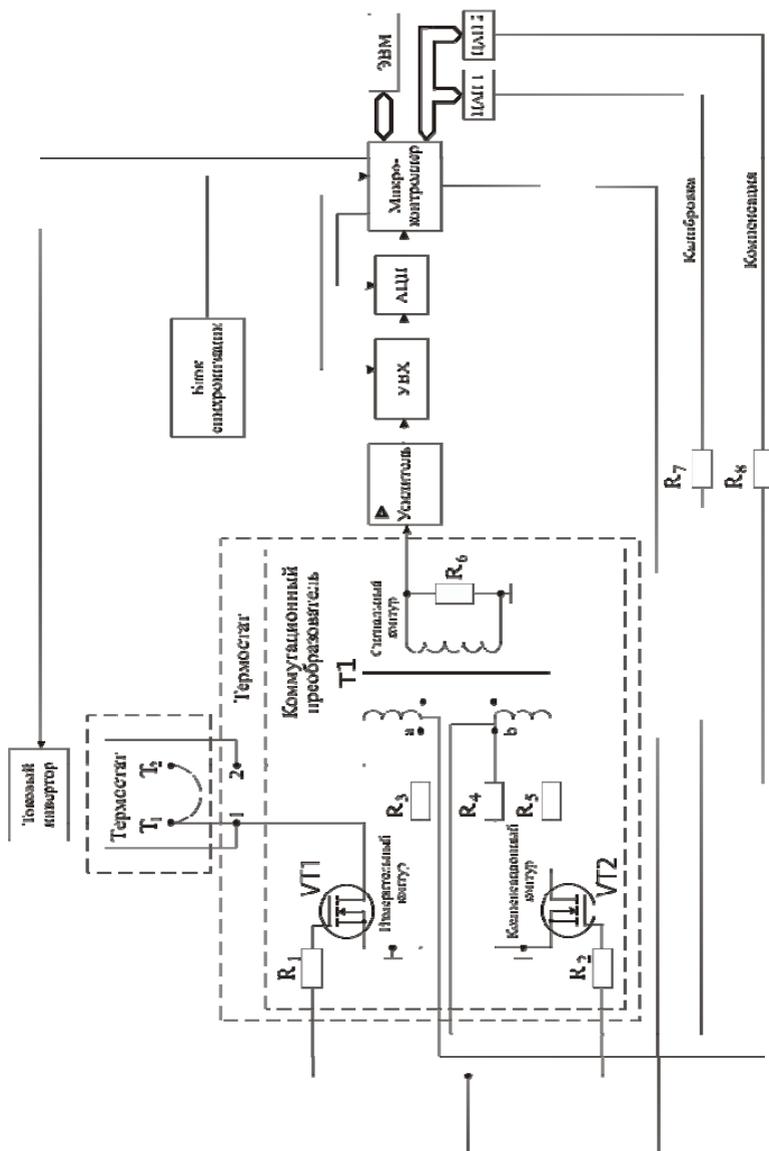


Рисунок 1. – Блок-схема измерительной установки

У такой методики эксперимента есть следующие преимущества.

1. В течение всего эксперимента количество выделяемой теплоты Джоуля не изменяется. Поэтому появляется возможность регистрации тепловых процессов, обусловленных только выделением теплоты Пельтье.

2. Процесс измерения носит периодический характер, что позволяет контролировать дрейф ноля во время всего эксперимента.

Последующая обработка и анализ подтвердили высокую степень воспроизводимости наблюдаемых переходных процессов. На рис. 3 представлен переходный процесс, зарегистрированный в воздухе, спирте и воде.

В эксперименте использовалась сварная термопара медь-константан с длиной константанового проводника 20мм и диаметром 1,4 мм, длина медных проводников составляла 300мм, а их диаметр – 0,8 мм. Такая конструкция термопары объясняется особенностями измерения: изначально спаи термопары должны находиться в одной и той же среде при одной и той же температуре.

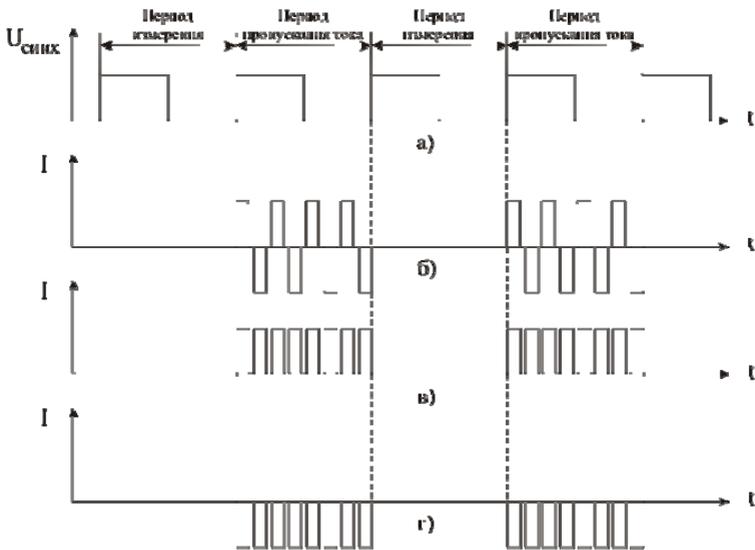


Рисунок 2 – Временные диаграммы импульсов тока через термопару

Термопара погружалась в сосуд с водой, спиртом или пустой сосуд, который в свою очередь располагался в закрытом термостате. Постоянная составляющая тока в режиме однополярных импульсов (серия из 8 однополярных импульсов) составляла 0,65А, при этом значение возникшей термо-ЭДС в воде составило порядка 22 мкВ, в спирте – 28 мкВ, в воздухе – 42 мкВ. При температурной чувствительности для медь-константановой термопары 40 мкВ/град разность температур спаев в воде составила 0,55 К, в спирте – 0,7 К, в воздухе – 1,05 К.

Рассмотрим только процесс, когда термопара приходит в тепловое равновесие с окружающей средой. Этот процесс можно нормировать, например, следующим образом. Каждое получаемое в эксперименте значение термо-ЭДС делится на площадь регистрируемого сигнала. Результатом такой нормировки является возможность сравнения параметров переходных процессов.

На рис. 4 представлены нормированные переходные процессы, полученные в воздухе, спирте и воде.

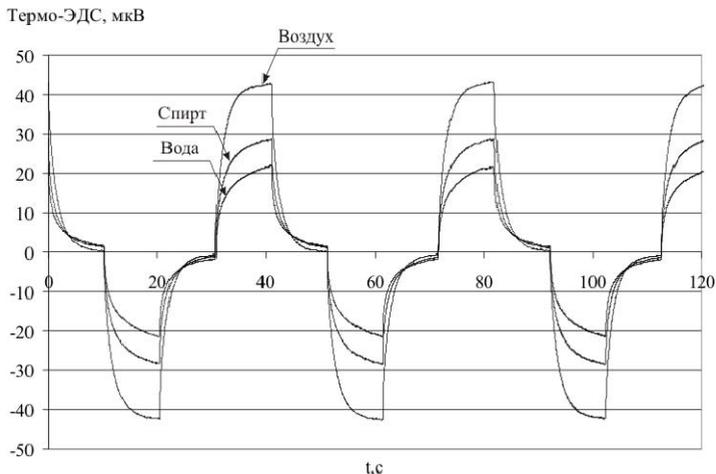


Рисунок 3 – Тепловой переходной процесс в воздухе, спирте и воде

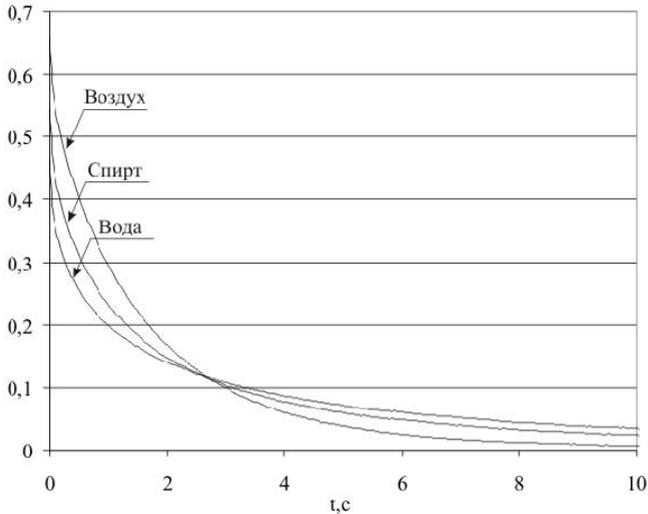


Рисунок 4 – Нормированные процессы установления теплового равновесия в воздухе, спирте и воде

Анализ нормированных переходных процессов позволяет сделать следующие выводы. Полученные переходные процессы не могут быть аппроксимированы одной экспоненциальной зависимостью. Удовлетворительная степень аппроксимации достигается при использовании двух, трех или более экспоненциальных составляющих. Отметим наличие определенной неоднозначности, которая присуща методам нелинейной регрессии, в том числе и экспоненциальной. В этой связи возникает потребность в модификации известных методов аппроксимации, поскольку установлена явная связь между тепловыми свойствами окружающей среды и амплитудой и длительностью переходного процесса.

**Заключение.** Изучение процессов установления теплового равновесия между датчиком и окружающей средой является одной из необходимых задач повышения точности измерений. В случае термопара такое изучение упрощается. Это связано с возможностью формирования тестовых тепловых импульсов с использованием теплоты Пельтье.

Разработанная измерительная установка позволяет производить периодические измерения термо-ЭДС в режиме протекания тока через термопару, что позволило произвести регистрацию тепловых переходных процессов, обусловленных выделением в спаях термопары теплоты Пельтье.

Предварительный анализ полученных переходных процессов подтвердил высокую степень их повторяемости, а, следовательно, и возможность использования разработанной измерительной установки и алгоритмов ее функционирования для определения теплотехнических характеристик различных сред и повышения точности температурных динамических измерений.

**Список литературы:** 1 *Коротков П.А., Лондон Г.Е.* Динамические контактные измерения тепловых величин. – Л.: Машиностроение, 1974. – 224с. 2 *Канарчук В.Е., Деркачев О.В., Чигринец А.Д.* Термометрическая диагностика машин. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1985.– 168с. 3 Патент 30068 UA, МПК G01K 7/2. Пристрій для вимірювання температури / *Луценко В.Ю., Оселедчик Ю.С., Жагров А.С.*; №200711373; Заяв. 15.10.07; Опубл. 11.02.08, Бюл. № 3. 4 *Головко Д.Б., Скрипник Ю.О., Хімичева Г.І.* Структурно-алгоритмічні методи підвищення точності вимірювання температури. – К.: ФАДА, ЛТД, 1999. – 206с. 5 *Луценко В.Ю., Жагров А.С.* Математическая модель датчика с коммутационным преобразованием термо-ЭДС // Украинский метрологический журнал. – Харків: ДНВО «Метрологія». – 2006г. – №3. – С.27-34. 6 *А.С. Жагров, В.Ю.Луценко, Ю.С.Оселедчик.* Экспериментальное исследование датчика температуры с коммутационным преобразованием термо-ЭДС// Украинский метрологический журнал. – Харків: ДНВО «Метрологія». – 2008г. – №4. – С.29-37.

*Поступила в редколлегию 7.03.2011*