# ПРОГРАММНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ИНЕРЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРОГРАММИРУЕМЫХ КОНТРОЛЛЕРАХ

**Қудратов Жавохир Баходир ўғли,**
Навоийский государственный горно-технологический университет,
Ғалаба 27, Навоий, Узбекистан

**Рахматов Достон Истам ўғли,**
Навоийский государственный горно-технологический университет,
Ғалаба 27, Навоий, Узбекистан

**Қаландаров Алишер Файзулло ўғли**
Навоийский государственный горно-технологический университет,
Ғалаба 27, Навоий, Узбекистан

***Аннотация*:** *В статье рассмотрена проблема наличия тепловой инерции у термоэлектрических преобра-зователей общепромышленного исполнения, применяемых для измерения температуры на большинстве технологических установок с температурой среды выше 200 °С. Целью исследования является разработка алгоритма прогнозирования температуры среды при известных тепловых характеристиках датчика температуры и реализация алгоритма непосредственно в общепромышленном программируемом логическом контроллере (ПЛК).*

***Ключевые слова*:** *тепловая инерция, термопара, программная обработка, программируемый логический контроллер, алгоритм прогнозирования*.

# SOFTWARE INERTIA COMPENSATION FOR INDUSTRIAL TEMPERATURE SENSORS IN PROGRAMMABLE CONTROLLERS

**Qudratov Javohir Bahodir o‘g‘li,**
Navoi State University of mining and technology,
Galaba 27, Navoiy, Uzbekistan

**Raxmatov Doston Istam o‘g‘li,**
Navoi State University of mining and technology,
Galaba 27, Navoiy, Uzbekistan

**Qalandarov Alisher Fayzullo o‘g‘li**
Navoi State University of mining and technology,
Galaba 27, Navoiy, Uzbekistan

***Abstract*:** *The paper deals with the problem of the presence of thermal inertia in thermoelectric converters of gen-eral industrial design, used to measure temperature in most technological installations with an ambient temperature above 200 ° C. The aim of the study is to develop an algorithm for predicting the temperature of the environment with known thermal characteristics of the temperature sensor and to implement the algorithm directly in a general industrial programmable logic controller (PLC).*

***Keywords*:** *thermal inertia, thermocouple, software processing, programmable logic controller, prediction algorithm.*

Современные промышленные датчики температуры, реализованные на базе первичных измерительных преобразователей, таких как термоэлектрические преобразователи (термопары) и термометры сопротивления, обладают

значительной тепловой инерцией. Инерция изменения показаний датчика по отношению к изменению температуры измеряемой среды обусловлена конструкцией датчика и объясняется теплопередачей через многослойную стенку [1 – 3]. Следовательно, при изменении температуры среды датчик будет передавать действительное значение температуры спустя некоторое время, называемое временем инерции. Согласно документации производителей датчиков температуры, время тепловой инерции для большинства промышленных сенсоров находится в пределах от 20 до 60 с.

Наличие тепловой инерции в ряде случаев может привести к увеличению времени срабатывания системы защиты по температуре технологического агрегата, а также к ухудшению качества регулирования технологических параметров.

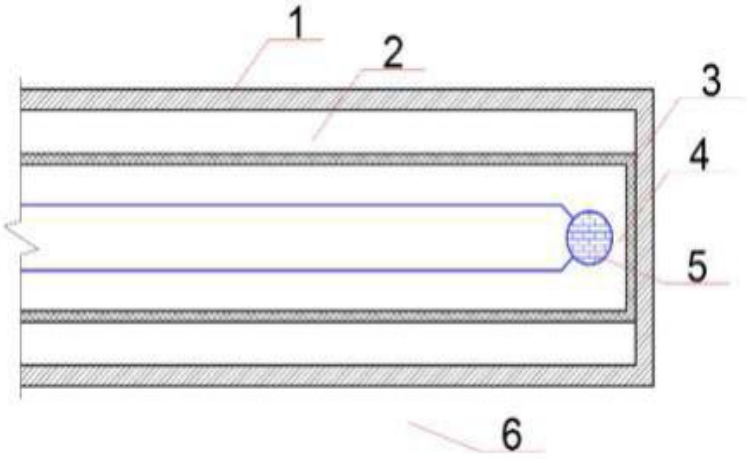


**Рисунок 1.** Теплопередача через многослойную стенку к горячему спаю термопары:

Использование защитных гильз и прочей вспомогательной арматуры для датчиков приводит к увеличению количества слоев при передаче тепла от среды к чувствительному элементу и, следовательно, увеличивает тепловую инерцию измерительного канала (рисунок 1).

В общем случае на чувствительный элемент воздействуют два механизма передачи тепла: конвекция и радиационный теплообмен.

Авторами работы ранее была разработана математическая модель и инженерная методика оценки времени тепловой инерции датчика температуры при различных вариантах изменения температуры среды, таких как линейно и нелинейно изменяющаяся температура и циклически изменяющаяся температура среды [3].

В продолжение исследования разработанные методики адаптированы для применения на программируемых логических контроллерах.

В общем виде при динамически изменяемой температуре среды в случае наличия инерции датчика значение первой определяется по формуле

$$T_C = \lambda \frac{dT}{d\tau} + T + \left(\lambda \frac{d^2T}{d\tau^2} + \frac{dT}{d\tau}\right)\tau, \qquad (1)$$

где ТС – температура окружающей среды;

λ – коэффициент тепловой инерции термопреобразователя;

Т – температура чувствительного элемента;

τ – время.

При вычислении конечного значения температуры выбирается период времени, многократно превышающий постоянные времени технологического процесса.

Снимаемая переходная характеристика термопары при реакции на единичное воздействие приведена на рисунке 2.

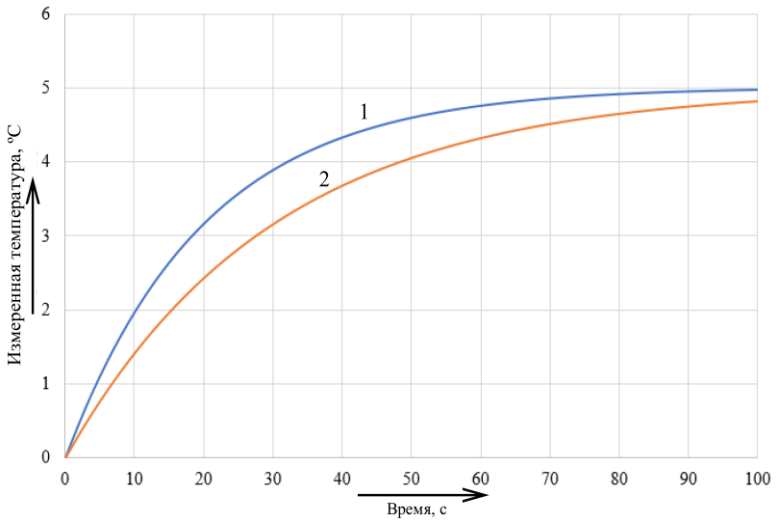


**Рисунок 2.** Изменение измеренных значений исследуемых термопар: 1 – время инерции 20 с; 2 – время инерции 30 с

В первом приближении подобная динамика объекта может быть описана апериодическим звеном первого порядка, реже апериодическим звеном первого порядка с запаздыванием или апериодическим звеном второго порядка.

Как известно, передаточная функция апериодического звена имеет вид:

$$W(p) = \frac{1}{\lambda p+1}. \qquad (2)$$

Дифференциальное уравнение звена имеет вид:

$$T_C = \lambda \frac{dT}{d\tau} + T. \qquad (3)$$

Следовательно, температура среды может быть в первом приближении вычислена как первая производная от показаний датчика, усиленная на величину инерции с последующим смещением на текущее значение температуры.

Для проверки гипотезы было выполнено математическое моделирование в среде Matlab Simulink (рисунок 3). Рассматривались два основных варианта изменения температуры среды:

линейное нарастание с постоянной скоростью, например, в случае выброса газов с высокой температурой в технологической системе;

гармоническое изменение температуры среды, например, при периодическом изменении нагрузки.

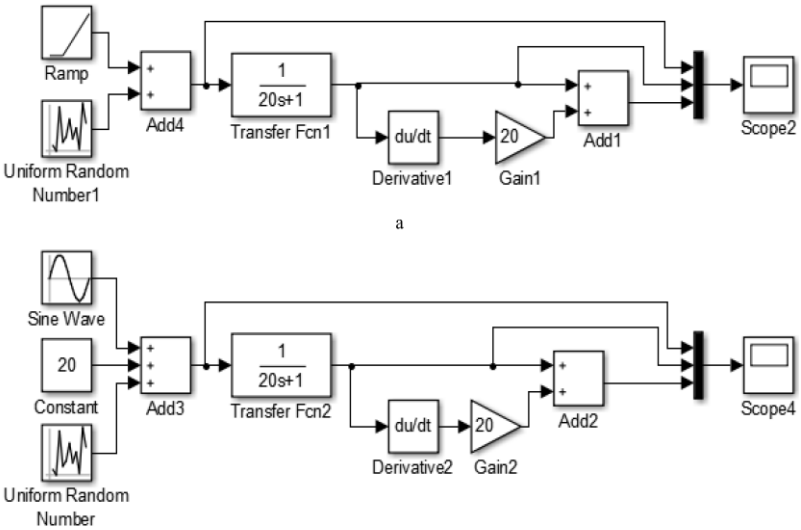


**Рисунок.** Моделирование вычисления температуры среды по сигналу датчика: а – линейно нарастающий сигнал; б – периодический сигнал

Оценка точности алгоритма прогнозирования выполнялась по общеизвестным методикам [2 – 4], сравнивались входное имитируемое значение температуры среды и прогнозируемое значение в данный момент времени. Величина отклонения прогнозируемого значения не превышала в абсолютном значении 0,5 °С.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахматов Д.И., Саидова А.Х., Мохилова Н.Т., Тухтамишова М.Ш. Автоматизация технологических процессов и производств // Интернаука: электрон. научн. журн. 2022. – №. 18-5. – С. 23-25. https://internauka.org/journal/science/internauka/241

2. Рахматов Д.И., Абдужабборова Д.А. Разработка методики калибровки средств измерений //Студенческий вестник. – 2021. – №. 3-5. – С. 47-49. https://elibrary.ru/item.asp?id=44681682

3. Kabulov, A., Kalandarov, I., Raxmatov, D., & Namozov, N. (2023). Control system and algorithm for construction of optimal technological routes for machining parts in the machining shop https://doi.org/10.1007/978-3-031-21219-2_288

4. Raxmatov D., Qalandarov A. The importance of metrology and measurements in the application of drip irrigation in horticulture //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 390. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339004027

5. Qudratov Javohir Bahodir o‘g‘li. (2023). O‘lchash vositalarining o‘lchash sharoitlarida noaniqligini aniqlash tahlillari. scholar, 1(14), 106–110. https://doi.org/10.5281/zenodo.7992726