

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента, доктора технических наук, профессора Королева П.Г.  
на диссертационную работу Федосова Ивана Игоревича,  
«Алгоритмы обработки информации для самодиагностики термоэлектрических преобразователей в АСУ ТП», представленную на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

### **1. Актуальность темы диссертации**

Процесс цифровизации производства включает, в том числе, внедрение большого количества средств измерений, объединенных в сенсорные сети. При этом ключевым параметром эффективности использования сенсорных сетей является обеспечение метрологической исправности средств измерения, что является сложной технической и экономической задачей.

Одним из наиболее распространенных контролируемых технологических параметров в АСУ ТП является температура, для измерения которой широко используются термоэлектрические преобразователи (ТЭП). Автор диссертации провел обзор литературы и показал, что повышенные температуры, агрессивные среды и циклические температурные воздействия оказывают влияние на метрологические характеристики ТЭП. При этом существующие подходы для самоконтроля метрологических характеристик термоэлектрических преобразователей имеют ограничения по величине выявляемого отклонения показаний преобразователя от фактической температуры процесса. Также, результаты диагностики существующих методов зависят от условий технологического процесса.

В связи с этим диссертационная работа Федосова И.И., посвященная разработке алгоритмов обработки информации для повышения достоверности измерения температуры и самодиагностики термоэлектрических преобразователей в АСУ ТП, является актуальной.

### **2. Научная новизна, достоверность и обоснованность результатов диссертационного исследования**

В диссертационном исследовании сформулирована и решена основная научно-практическая задача – оценка достоверности получаемой от термоэлектрического преобразователя информации в процессе эксплуатации. В ходе решения поставленной задачи соискателем получены следующие новые научные результаты:

- имитационная модель и алгоритм формирования ансамбля синтетических данных для двухпроводной и четырехпроводной измерительных схем ТЭП,



позволяющие воспроизводить фактические статические характеристики ТЭП с задаваемой степенью отклонения от номинальных статических характеристик;

- метод валидации имитационной модели с использованием непараметрического статистического критерия;

- методы обработки информации для четырехэлектродной измерительной схемы ТЭП, позволяющие сформировать результат измерения, устойчивый к дрейфу характеристик отдельных термоэлектродов ТЭП;

- методы обработки информации для формирования статуса результата измерения и критерий назначения статуса, позволяющий оценить достоверность каждого измерения ТЭП с использованием статусов «подтвержденный», «ориентирующий» и «недостоверный».

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы обеспечивается корректным применением теоретических методов системного анализа и имитационного моделирования, статистической проверкой разработанных методов обработки информации на имитационной модели, экспериментальной проверкой адекватности имитационной модели и алгоритмов обработки информации. Все научные положения, выводы и результаты хорошо аргументированы.

Результаты диссертационного исследования представлены автором в 3 статьях в журналах, рекомендованных ВАК, и 1 статье в Scopus. Также автором получен 1 патент на изобретение, 1 патент на полезную модель, и 2 свидетельства на программы для ЭВМ.

### **3. Теоретическая и практическая значимость результатов исследования**

Теоретическая значимость работы связана с предложенным подходом по изучению свойств термоэлектрических преобразователей на основе имитационной модели. Предложенная имитационная модель имеет физическое обоснование, а разработанная процедура валидации позволяет статистически подтвердить адекватность модели. Полученные на основе модели синтетические данные используются для исследования и настройки алгоритмов обработки информации в задаче самодиагностики термоэлектрического преобразователя.

Практическая значимость работы состоит в разработанном алгоритмическом обеспечении для оценки достоверности каждого результата, полученного от измерительного канала с ТЭП. Предлагаемые методы обработки информации отличаются низкой вычислительной сложностью и могут быть реализованы в программном обеспечении для микроконтроллеров в измерительных каналах температуры. Важно отметить, что настройка пороговых значений предложенного алгоритма оценки статусов результата измерения выполняется на основе



синтетических данных и не требует калибровки ТЭП перед началом эксплуатации. Полученные результаты внедрены в АО НИИ НПО «ЛУЧ» (Росатом) для задач контроля температуры объектов использования атомной энергии.

#### **4. Замечания по диссертационной работе**

В качестве недостатков работы следует отметить:

1. Предложенное соотношение для расчета результата измерения четырехэлектродного термоэлектрического преобразователя (3.19) использует для температур, рассчитанных по дополнительным термоэлектродным парам, весовой коэффициент  $w = 0,5$ , при этом обоснование выбора такой величины коэффициента не приводится (стр. 81).

2. В работе рассматривались три возможных варианта четырехэлектродного ТЭП (ХАНН, ХКЖК, ХАХК), но экспериментальные результаты исследования разработанных алгоритмов информации приведены только для типа ХАНН.

3. При разработке алгоритмов обработки информации для четырехэлектродного ТЭП температура холодного спая предполагается  $T_{хол} = 0^{\circ}\text{C}$ . При этом непонятно, при экспериментальном исследовании полученных алгоритмов выполнялось ли это условие и будут ли работать алгоритмы при  $T_{хол}$ , отличной от  $0^{\circ}\text{C}$ .

4. В работе не приведены определения терминов «крайнее возможное состояние» и «крайнее метрологическое состояние».

5. При проведении модельного эксперимента с синтетическими данными, объем выборки достигал 50 ... 500 отсчетов. Какой объем выборки достигим в реальном эксперименте? Проверялось ли, как работают критерий и алгоритмы в условиях малой выборки?

#### **5. Заключение о соответствии диссертационной работы критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней**

Указанные выше недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы в целом.

В диссертации представлены новые научные результаты, полученные автором лично. Предложенные автором решения в области имитационного моделирования и обработки информации аргументированы, учитывают требования стандартов в области температурных измерений с использованием термоэлектрических преобразователей, а также стандартов в области разработки и использования интеллектуальных средств измерения.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».



Диссертационная работа Федосова Ивана Игоревича является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей новое решение задачи оценки достоверности измерения температуры с использованием термоэлектрических преобразователей в АСУ ТП. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным пунктом 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» №842 от 24.09.2013, а ее автор, Федосов Иван Игоревич, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент

Доктор технических наук,  
профессор, заведующий кафедрой  
«Информационно-измерительные  
системы и технологии»  
ФГБОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ»



Королев Павел Геннадьевич

29.11.2024

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук защищена по специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (Приборостроение)».

Данные об организации

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)  
197022, Россия, г. Санкт-Петербург,  
ул. Профессора Попова, дом 5.  
Телефон +7 812 234-46-51  
Адрес электронной почты: [info@etu.ru](mailto:info@etu.ru)  
Сайт организации: <https://etu.ru/>

Подпись Королева Павла Геннадьевича заверяю

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ  
НАЧАЛЬНИК ОДС  
Т.Л. РУСЯЕВА

