

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и  
инновациям

ФГБОУ ВО «Новосибирский  
государственный технический  
университет», к.т.н.



  
А.И. Отто

«» ноября 2024 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» 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.

### ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 97 источников. Диссертационная работа изложена на 150 страницах, включая 62 рисунка, 15 таблиц и 1 приложение.

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, отражена научная новизна и показана практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** выполнен анализ применения термоэлектрических преобразователей (ТЭП) в АСУ ТП и показаны негативные последствия роста погрешности измерения температуры с использованием ТЭП, приводящие к снижению эффективности работы оборудования и опасным режимам технологических процессов. В главе также показано, что существующие подходы к самодиагностике ТЭП имеют ограничения по величине обнаруживаемого отклонения фактической статической характеристики ТЭП от номинальной, а эффективность метода существенно зависит от параметров технологического процесса.

**Во второй главе** описана четырехэлектродная измерительная схема ТЭП с возможностью получения дополнительной диагностической информации и предложен способ построения и валидации имитационной модели ТЭП. Получаемая



имитационная модель позволяет воспроизвести различные варианты отклонения фактической статической характеристики двухэлектродного ТЭП от номинальной. Предложенная процедура валидации подтверждает адекватность имитационной модели для ТЭП хромель-алюмель. Также, предложенная модель адаптирована для предлагаемого четырехэлектродного ТЭП.

**В третьей главе** представлен алгоритм обработки информации для формирования результата и статуса измерения четырехэлектродного ТЭП. Обработка измеряемого вектора термоэлектродвижущей силы на выходе четырехэлектродного ТЭП состоит из трех последовательных этапов: предварительная обработка, определение результата измерения и вектора диагностических признаков, оценка статуса результата измерения. Работоспособность представленных методов обработки информации продемонстрирована на синтетических данных с различной долей измерений ТЭП за пределом допуска.

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментальной проверки предложенной измерительной схемы, имитационной модели и алгоритмов обработки информации для четырехэлектродного ТЭП. Подтверждена адекватность предложенной имитационной модели и эффективность алгоритмов обработки информации для ТЭП хромель-алюмель-нихросил-нисил (ХАНН).

**В заключении** приведены основные выводы и результаты работы.

### **АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ РАБОТЫ**

Достоверность измерения параметров технологического процесса в АСУ ТП оказывает прямое влияние на качество выходной продукции и безопасность производства. Для измерения температуры в АСУ ТП в основном используются контактные датчики температуры, преимущественно термоэлектрические преобразователи. При этом воздействие высоких температур, циклического нагрева и охлаждения, а также агрессивных сред приводит к изменению термоэлектрических свойства термопар и росту погрешности измерения температуры. Рост погрешности термопар на 5...10 градусов Цельсия и выше может приводить к снижению эффективности или нарушению работы оборудования в металлургии, электроэнергетики и химическом производстве.

В диссертационной работе Федосова Ивана Игоревича рассмотрены методы обработки информации для самодиагностики и оценки достоверности измерения температуры с помощью термоэлектрических преобразователей в АСУ ТП. Анализ решений в области диагностики ТЭП показывает ограниченную чувствительность существующих подходов к увеличению погрешности измерений, а также значительное влияние параметров технологического процесса на работоспособность методов диагностики. В связи с этим, разработка новых измерительных схем и методов обработки информации для повышения достоверности измерения температуры технологических процессов представляет собой актуальную задачу исследования.



## **НАУЧНАЯ НОВИЗНА, ДОСТОВЕРНОСТЬ И ОБОСНОВАННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

В диссертации получен ряд новых научных результатов:

- 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 на основе метода коррелированной проверки с использованием непараметрического статистического критерия Лемана-Розенблатта для оценки однородности синтетических и экспериментальных данных;

- алгоритмы формирования ансамбля синтетических данных термоэлектрических преобразователей для двухэлектродной и четырехэлектродной измерительных схем ТЭП для последующего использования синтетических данных при разработке методов самодиагностики ТЭП;

- метод обработки измеряемых ТЭДС в четырехэлектродном ТЭП, позволяющий сформировать результат измерения, устойчивый к дрейфу характеристик отдельных термоэлектродов, а также выделить вектор диагностических признаков для самодиагностики четырехэлектродного ТЭП;

- метод самодиагностики и формирования статуса для каждого измерения четырехэлектродного ТЭП, система из трех статусов «подтвержденный», «ориентирующий» и «недостовверный», каждый из которых характеризует достоверность полученного результата измерения ТЭП.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивается корректным использованием методов системного анализа, подходов имитационного моделирования, статистической проверкой разработанных методов обработки информации как на имитационной модели, так и на экспериментальных данных.

### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ**

В работе предложен подход по имитационному моделированию термоэлектрических преобразователей, позволяющий получить набор синтетических ТЭП с различным отклонением фактических характеристик от номинальных. Адекватность разработанной имитационной модели подтверждена на экспериментальных данных. Предлагаемый метод формирования синтетических данных для разработки и исследования методов самодиагностики средств измерений отличается новизной, а предлагаемая имитационная модель может быть адаптирована для других типов средств измерения, со статической характеристикой в виде полинома.

Также, в работе предложен метод обработки информации в четырехэлектродном ТЭП и способ формирования статуса результата измерения. Полученные методы обработки информации отличаются возможностью настройки на основе синтетических данных и не требуют индивидуальной калибровки каждого ТЭП перед началом эксплуатации.



## ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

В работе предложено алгоритмическое обеспечение для оценки достоверности каждого результата измерения четырехэлектродного ТЭП. Предлагаемые алгоритмы и критерии назначения статусов отличаются низкой вычислительной сложностью и настраиваются с использованием стандартных статических характеристик термодинамических материалов. Таким образом, ключевая практическая значимость диссертационной работы заключается в реализуемости разработанного алгоритмического обеспечения на практике для микроконтроллеров в составе датчиков температуры. Практическая значимость подтверждается полученным патентом на полезную модель сенсора и патентом на изобретение, включающим способ определения достоверности результатов измерения термоэлектрического преобразователя. Также на полученные результаты получен акт внедрения от АО НИИ НПО «ЛУЧ» (Росатом).

## ЗАМЕЧАНИЯ

1. При построении имитационной модели четырехэлектродного ТЭП в выражении (2.61) на стр. 66 недостаточно понятно показано, как вычисляется максимальное допустимое отклонение  $\Delta E_{max}$ .

2. Для сравнения данных имитационной модели и реальной системы использован критерий однородности Лемана-Розенблатта (стр. 55), однако, не приводится обоснования выбора этого критерия относительно других (например, критерий Андерсона-Дарлинга или критерий Смирнова).

3. В предложенном алгоритме назначения статусов результата измерения в статус «ориентирующий» могут попадать измерения с различной величиной отклонения температуры ТЭП от фактической температуры процесса. В диссертации не приводится анализ полученных отклонений для указанного статуса, а это важно с точки зрения практического использования разработанного алгоритма.

4. При обозначении отдельных переменных в формулах используется большое количество надстрочных и подстрочных символов, что затрудняет восприятие материала.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Федосова Ивана Игоревича на тему «Алгоритмы обработки информации для самодиагностики термоэлектрических преобразователей в АСУ ТП» является законченной научно-квалификационной работой. Диссертация содержит совокупность новых теоретических результатов, имеет последовательное изложение материала, отличается практической применимостью. Полученные результаты диссертации соответствуют паспорту специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика». Основное содержание работы опубликовано в 4 статьях, три из которых в журналах, рекомендованных ВАК, и одна статья в Scopus. Также по результатам работы получены 2 патента и зарегистрированы 2 программы для ЭВМ.



Диссертация и отзыв были обсуждены и одобрены на расширенном заседании кафедры «Автоматизированных систем управления» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». Таким образом, диссертационная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук в соответствии с 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.

Отзыв подготовил:

Доцент кафедры  
защиты информации, к.т.н.

М.А. Савиных

Заведующий кафедрой АСУ

И.Н. Томилов

29.11.2024г.

**Сведения о ведущей организации:**

**Полное наименование на русском языке:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

**Сокращенное наименование на русском языке:** НГТУ

**Почтовый (фактический) адрес:** Россия, 630073, г. Новосибирск, проспект Карла Маркса, 20.

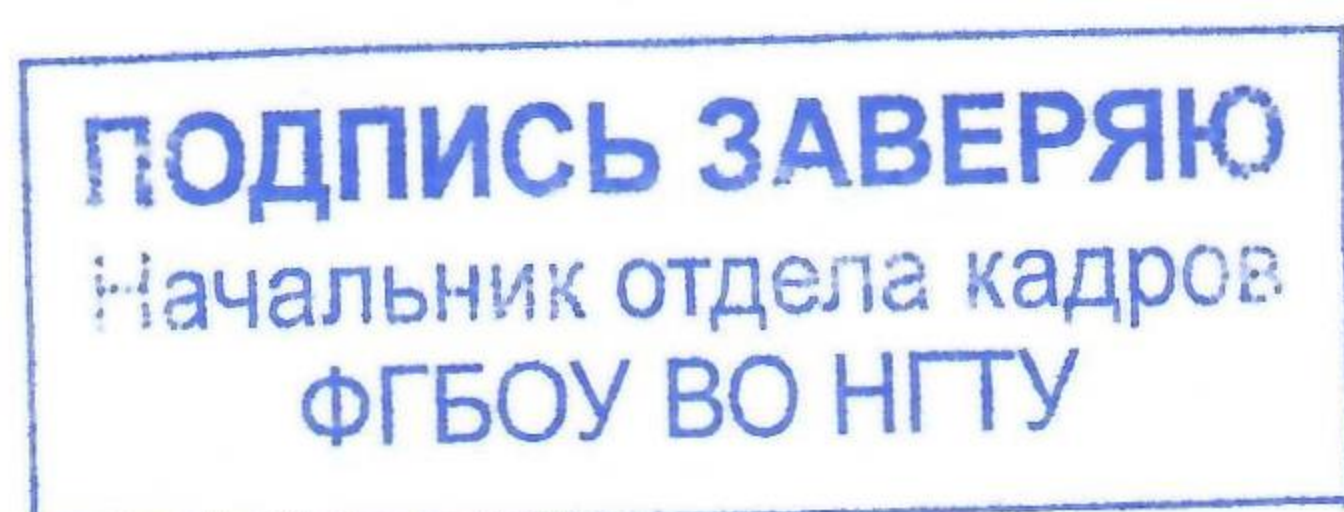
**Официальный сайт в сети Интернет:** <https://www.nstu.ru/>

**E-mail:** [rector@nstu.ru](mailto:rector@nstu.ru)

**Контактный телефон:** +7 (383) 346 08 43

Подпись Савиных Максима Александровича заверяю

М.П.



Томилов И.Н.