

## ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук, доцента Паракуди Василя Васильовича на дисертацію Лопатко Ольги Олегівни «Прогнозування значення температури за перехідним процесом із використанням нейронних мереж», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.04 – прилади та методи вимірювання теплових величин

Дисертація Лопатко О.О. присвячена вирішенню науково-технічного завдання розроблення методу вимірювання температури за перехідним процесом з використанням нейронної мережі.

**Актуальність теми дисертації.** Потреба у вимірюванні високих значень температури контактними методами постає в різних галузях економіки, зокрема, в металургії, енергетиці, хімічній промисловості, під час виконання різного роду досліджень, як фундаментальних, так і прикладних. Однак, при вимірюванні високих температур, наприклад, розтопів металів в сталеплавильних процесах, контактні первинні перетворювачі використовуються один раз, згораючи в печі. В кращому випадку їх використовують декілька разів, але при цьому первинні перетворювачі втрачають свої метрологічні характеристики. При зануренні первинних перетворювачів в розтоп металу на короткий період, що не викликає пластичної деформації перетворювача і відповідно його забруднення, а за параметрами перехідного процесу дає можливість прогнозувати з необхідною вірогідною точністю значення температури розтопу. Цей спосіб використання термоперетворювачів в рази здешевлює процес вимірювання температури і продовжує термін експлуатації первинних перетворювачів. Тому використання і вдосконалення методів розрахунку температури об'єкта вимірювання за температурним перехідним процесом є актуальною задачею.

У цьому контексті дисертаційна робота Лопатко О.О., присвячена дослідженню методу вимірювання температури за температурним перехідним процесом із використанням нейронної мережі, є актуальною.

## **Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій та їх достовірність**

У представленій дисертації розглядається важлива і актуальна наукова задача дослідження методу вимірювання температури за температурним перехідним процесом із використанням нейронної мережі. Теоретичний аналіз, представлений у дисертаційній роботі, ґрунтується на положеннях фізики твердого тіла, метрології та термометрії, теорії похибок та опрацювання результатів вимірювань, теорії електричних кіл, статистичного аналізу та теорії штучних нейронних мереж. Проведені експериментальні дослідження метрологічних характеристик устави для вимірювання температури за перехідним процесом із використанням нейронної мережі виконані відомими методами та засобами вимірювальної техніки.

Достовірність отриманих результатів обумовлена вдалими фізико-математичними моделями та розрахунками, здійсненими з використанням сучасних прикладних програмних пакетів.

В авторефераті досить повно відзначено як актуальність теми, так і зв'язок з науковими програмами, планами і темами, коректно поставлена мета і запропоновано задачі для вирішення. Отримані наукові результати і їх наукова новизна вказують на достатньо повне виконання поставлених задач. Добра збіжність між результатами теоретичних та експериментальних досліджень підкреслює їх вірогідність, що зазначено в авторефераті.

**Наукова новизна** дисертаційної роботи полягає в наступному:

1. Вперше запропоновано метод вимірювання температури за перехідним процесом із використанням нейронної мережі, що дозволяє мінімізувати вплив адитивної, мультиплікативної та нелінійної складових похибки засобів вимірювальної техніки, які застосовуються для вимірювання миттєвих значень температурного перехідного процесу.

2. Вперше отримано залежність похибки прогнозування значення температури об'єкта вимірювання за температурним перехідним процесом від кількості шарів, кількості входів нейронної мережі та кількості тестових

послідовностей для навчання, що дозволяє оптимізувати структуру нейронної мережі за критерієм мінімуму похибки прогнозування температури.

3. Вперше отримано залежність похибки прогнозування значення температури із використанням нейронної мережі від мультиплікативної, нелінійної та випадкової складових похибки вимірювання миттєвих значень температурного перехідного процесу, що дозволяє встановити вимоги щодо інструментальних похибок засобів для вимірювання миттєвих значень температури.

**Практична цінність** отриманих результатів. Розроблений метод вимірювання високих температур за перехідним процесом із використанням нейронної мережі дозволяє збільшити термін експлуатації первинних перетворювачів, зменшити час вимірювання температури (без очікування встановлення теплової рівноваги) та розширити допустимий діапазон температури, в якому може застосовуватись конкретний первинний перетворювач. Це дозволяє використовувати даний метод в забезпеченні технологічних процесів, де вимірюються високі температури, зокрема, в металургії, енергетиці, машинобудуванні, під час виконання фундаментальних так і прикладних наукових досліджень.

Досить детально описано експериментальні дослідження та отримані результати. Треба відмітити на урівноваженість дисертаційної роботи та її збалансованість теоретичними й експериментальними дослідженнями.

Результати виконаних досліджень впроваджено у виробничу діяльність.

**Оцінка структури та вмісту дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота складається із анотації, переліку умовних позначень та скорочень, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, додатків. Робота викладена на 137 сторінках друкованого тексту, з яких 108



сторінок основного тексту, містить 49 рисунків та 14 таблиць. Перелік використаних літературних джерел налічує 69 найменувань.

Зміст дисертації мова та стиль викладення, а також якість ілюстративного матеріалу відповідають встановленим вимогам до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

У **вступі** обґрунтовано актуальність задачі, сформульована мета і задачі дослідження, а також коротко викладені основні результати роботи, вказано їх значення для науки і виробництва, зв'язок роботи з науковими програмами і темами, подано дані про структуру дисертації, апробацію та публікації основних результатів роботи.

У **першому** розділі описано основні методи прогнозування значення температури за перехідним процесом. Запропоновано метод прогнозування значення температури із використанням нейронних мереж. Відображено класифікацію нейронних мереж за архітектурою, способом навчання та типом задач, які може виконувати нейронна мережа. Визначено оптимальну структуру нейронної мережі для вирішення поставленої задачі. Викладені математичні моделі температурного перехідного процесу, які використовуються для навчання та тестування нейронної мережі.

У **другому** розділі синтезовано уставу для вимірювання температури за перехідним процесом із застосуванням нейронної мережі в якості обчислювального засобу. Розроблена устава працює в двох режимах – навчання та вимірювання. Навчання нейронної мережі побудоване за моделлю температурного перехідного процесу для первинного перетворювача з однією сталою часу. Проведено дослідження метрологічних характеристик устави з нейронною мережею. Під час досліджень нехтували похибкою вимірювання миттєвих значень температурного перехідного процесу. Отримано залежності похибки прогнозування значення температури об'єкта вимірювання від кількості входів нейронної мережі, послідовностей для навчання, від початкової температури первинного перетворювача, а

також, від температури об'єкта вимірювання, що знаходиться за межами діапазону навчання нейронної мережі. Дані залежності дозволяють оптимізувати параметри уставу за критерієм мінімуму похибки вимірювання температури.

У **третьому** розділі проведені дослідження залежності похибки прогнозування значення температури об'єкта вимірювання від похибки вимірювання миттєвих значень температурного перехідного процесу. Отримано залежності похибки прогнозування значення температури від мультиплікативної, нелінійної та випадкової складових похибки вимірювання, від розрядності АЦП та від похибки зразкового термометра, які дозволяють за заданої похибки вимірювання температури отримати вимоги щодо метрологічних характеристик уставу для вимірювання температури за перехідним процесом, а саме: зразкового термометра, термометра для вимірювання миттєвих значень та розрядності АЦП.

У **четвертому** розділі наведені результати експериментальних досліджень уставу для вимірювання температури за перехідним процесом із використанням нейронної мережі. Вимірювання миттєвих значень температури води або повітря проводилось із використанням термопару типу N нікросил-нісил, мультиметра Agilent 34410A, повітряного каналу за Ліневегом та водяного термостата в лабораторії Технічного університету Ільменау (Німеччина).

Досліджувались нейронні мережі, навчання яких проводилось на:

- моделі температурного перехідного процесу з двома сталими часу,
- об'єкті вимірювання,
- моделі температурного перехідного процесу з двома сталими часу з подальшим до навчанням на об'єкті вимірювання.

У **додатках** наведено список публікацій за темою дисертації, створені тестові послідовності для навчання нейронних мереж, алгоритм створення та навчання нейронних мереж, алгоритм перевіряння нейронних мереж, акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

### **Повнота викладу змісту дисертації в опублікованих працях**

За тематикою дисертаційної роботи опубліковано 9 наукових праць, серед яких 5 статей у наукових журналах та збірниках наукових праць. Наукові положення і результати дисертаційних досліджень оприлюднені на 4 науково-технічних конференціях.

Автореферат адекватно відображає зміст дисертаційної роботи.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність**

Основні наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, теоретично обґрунтовані та підтверджуються результатами моделювання та експериментів.

Тематика та зміст дисертації повністю відповідають Паспорту спеціальності 05.11.04 – прилади та методи вимірювання теплових величин, за якою вона подана до захисту, та напряму дослідження «Прогнозування значення температури за перехідним процесом із використанням нейронних мереж».

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, підтверджується їх апробацією на національному і міжнародному рівнях та підтверджується збігом аналітичних розробок та розрахунків з результатами моделювання та експериментів.

### **Відповідність автореферату змісту дисертації**

Стиль викладення матеріалу дисертації і автореферату науковий, послідовний, чіткий та лаконічний. Мова викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття. Висновки до кожного розділу і дисертації в цілому відображають суть виконаних досліджень. Структура роботи і стиль викладення матеріалу відповідають вимогам до кандидатських дисертацій.



Зміст автореферату повністю ідентичний до змісту і основних положень дисертації та відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. Назва роботи мала би більш точно відображати суть дисертації щодо вимірювання високих температур інформаційно-вимірювальною системою з інтелектуальною складовою.
2. В роботі не проведена класифікація методів вимірювання температури з позиції динамічних чи статичних вимірювань.
3. В роботі не наведено визначення терміну «похибка прогнозування», не зазначено причин і джерел їх виникнення. На нашу думку коректнішим було б використання терміну «непевність вимірювання».
4. В дисертації не проведений аналіз аналогів устав для вимірювання температури в динамічному режимі за температурним перехідним процесом.
5. В роботі не розглянуто питання метрологічного забезпечення уставу для вимірювання температури із використанням нейронних мереж.
6. Не зрозуміла неузгодженість в підходах до питання прогнозування чи вимірювання значень температури за температурним перехідним процесом. Зокрема, в роботі приведена структурна схема уставу для прогнозування значення температури за перехідним процесом із використанням нейронної мережі (с.44, рис.2.1). Разом з тим в другому і четвертому розділі дисертації йде мова про створення і дослідження уставу для вимірювання температури за перехідним процесом із використанням нейронної мережі.

Проте, вказані зауваження не применшують наукової цінності отриманих результатів, не зменшують загальної позитивної оцінки роботи, не впливають на достовірність, наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

### **Висновок про відповідність дисертації вимогам Міністерства освіти і науки України**

Дисертаційна робота Лопатко Ольги Олегівни «Прогнозування значення температури за перехідним процесом із використанням нейронних мереж» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати в області метрології та інформаційно-вимірювальних систем, що в сукупності забезпечили розв'язання актуальної науково-прикладної задачі – розроблення методу вимірювання температури за перехідним процесом з використанням нейронної мережі.

Проведені дослідження є актуальними. За отриманими результатами робота повністю відповідає вимогам п.п.9,11 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, що затверджений постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року, а її автор Лопатко Ольга Олегівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук згідно паспорту спеціальності 05.11.04 – прилади та методи вимірювання теплових величин.

Офіційний опонент:

Директор Державного підприємства  
«Науково-дослідний інститут метрології,  
вимірювальних і управляючих систем»  
кандидат технічних наук, доцент

16. XI. 19р.



Паракуда В.В.