

**ВІДГУК**  
**ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

**д.т.н., проф. Горобця Валерія Григоровича**

на дисертаційну роботу **Чиркової Анни Петрівни**

**«Особливості зовнішньої аеродинаміки і теплообміну димових труб у міській інфраструктурі та на майданчику ТЕС»**, представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали

**Актуальність теми дисертації.**

Наукова робота Чиркової Анни Петрівни має актуальне значення при проведенні більш точних розрахунків для проектування димових труб теплових електростанцій та покращення технічного стану димових труб, що перебувають у експлуатації. Сьогодні більшість димових труб ТЕС України працюють в нерозрахованих умовах, що обумовлено недостатньо точним врахуванням особливостей аеродинаміки та теплообміну в середині труби та, особливо, на її зовнішній поверхні, як при проектуванні, так і при експлуатації ТЕС, вплив на екологію навколишнього простору та здоров'я людей.

**Оформлення дисертації, стиль викладу та мова дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота оформлена відповідно до стандарту ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки й техніки. Структура і правила оформлення». Матеріал дисертації викладено в послідовності, що відповідає поставленим в роботі завданням, текст дисертаційної роботи написано у науковому стилі. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Стиль висловлювання та подача матеріалу досліджень є логічними, послідовними і зв'язаними єдиною цільовою спрямованістю. Стиль викладу матеріалу дисертації, висновків, наукових положень є притаманним науковим дослідженням. Мова дисертації лаконічна, термінологічно відповідає сучасним нормам, коректна та зрозуміла.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Чиркової А. П. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 105 Прикладна фізика та

наноматеріали та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Прикладна фізика.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «зовнішня аеродинаміка і теплообмін димових труб теплоенергетичних установок».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Чиркової Анни Петрівни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Основний зміст роботи.**

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 128 сторінок.

**У вступі** розглянуто основні проблеми енергетики України, пов'язані з експлуатацією димових труб ТЕЦ. Обґрунтовується актуальність теми дисертації, ставляться завдання для її досягнення. Обґрунтовано метод дослідження. Розглянуті нові наукові результати та їх практичне значення, зв'язок дисертації з програмою фундаментальних робіт НАН України, особистий внесок автора та апробація результатів дослідження.

**У першому розділі** представлено короткий огляд сучасного стану проблеми експлуатації димових труб ТЕС. Розглянуто основні конструкції димових труб, проаналізовано основні проблеми їх експлуатації, пов'язані з випаданням хімічно агресивного конденсату, що призводить до деградації внутрішньої поверхні димових труб та порушення екологічно безпечних умов їх експлуатації. Детально розглянуто особливості аеродинаміки та теплообміну при поперечному обтіканні круглого нескінченного циліндра для докритичного, надкритичного та трансзвукового режимів обтікання. Проаналізовано вплив зовнішньої турбулентності та шорсткості поверхні на теплообмін і аеродинаміку при поперечному обтіканні труби. Наводиться рівняння для профілю швидкості набігаючого вітру для трьох типів інфраструктури навколишнього простору. Розглянуто особливості обтікання димової труби та окремих будівель на майданчиках АЕС та ТЕС за різного напрямку вітру. Сформульовано мету роботи, обґрунтовано основні завдання для дослідження, зроблено вибір методу дослідження.

**У другому розділі** розглянуто методичні аспекти комп'ютерного моделювання аеродинаміки та теплообміну при зовнішньому обтіканні одиночної конічної труби, яка розташована на земній поверхні. Наводиться

математичний опис проблеми, розглянуто геометричні моделі, які досліджені у роботі, аналізуються особливості завдання граничних умов. Розглянуті методи чисельного розв'язання системи диференціальних рівнянь руху та енергії, способи дискретизації рівнянь та методи розв'язання системи алгебраїчних рівнянь. На прикладі теплообміну при докритичному режимі обтікання круглого циліндра виконано верифікацію сіткової моделі та обґрунтовано модель турбулентності, що застосовується в роботі.

**У третьому розділі** виконано комп'ютерне моделювання аеродинаміки та теплообміну на поверхні одиночної конічної димової труби, розташованої у нескінченному просторі, а також у міській інфраструктурі. Запропоновано геометричну та комп'ютерну моделі димової труби, розглянуто методичні аспекти чисельного моделювання та представлено програму досліджень. У розрахунках на поверхні труби задавалися граничні умови I роду, використана RNG  $k$ - $\varepsilon$  модель турбулентності. Максимальні значення тепловіддачі досягаються в середній частині труби, біля земної поверхні та у гирлі труби. Виявлено, що конусність труби практично не впливає на середню по всій висоті труби. Форма профілю швидкості вітру перед димовою трубою, яка визначається типом інфраструктури навколишнього простору, має значний вплив на розподіл локальної тепловіддачі по висоті труби. Зі зростанням середньої швидкості набігаючого потоку вітру середня по всій висоті труби тепловіддача зростає приблизно за лінійним законом.

**У четвертому розділі** розглянуті аеродинаміка та теплообмін біля одиночної конічної димової труби, розташованої в умовах промислового майданчика ТЕС. Для виконання досліджень розроблено спрощену геометричну та комп'ютерну моделі майданчика ТЕС, які враховують основні елементи її інфраструктури. На поверхні труби задавалися граничні умови I роду, а в розрахунках використана RNG  $k$ - $\varepsilon$  модель турбулентності. На межах майданчика ставився профіль швидкості, який відповідає умовам міської забудови. Програма досліджень включає різний напрямок вітру та різні сезонні температурні умови, що притаманні для умов України. Показано, що інфраструктура майданчика ТЕС істотно впливає на умови обтікання димової труби та тепловіддачу. Показано, що періодична зміна швидкості, температури, тиску та теплообміну в кормовій частині труби має місце тільки вище даху машинного залу. Використання у розрахунках рівномірного профілю швидкості перед трубою може призводити до значних помилок у розрахунках локальної тепловіддачі. У приземній зоні труби та в області машинного залу тепловіддача може бути заниженою і завищеною порівняно з результатами розрахунку для рівномірного профілю швидкості, а вище даху машинного залу це рівняння показує завищені

результати. Виконано порівняльний аналіз розподілу локальної тепловіддачі по висоті труби при різному напрямку вітру.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

При різному значенні граничних умов у роботі виявлено хвилеподібний характер зміни швидкості, тиску, температури та коефіцієнта тепловіддачі в кормовій частині конічної димової труби при поперечному обтіканні.

Показано, що для труби у нескінченному просторі з рівномірним профілем швидкості вітру на вході конусність не впливає на середню по висоті труби тепловіддачу. Зі зростанням швидкості набігаючого потоку середній коефіцієнт тепловіддачі зростає практично лінійно як при рівномірній, так і змінній по висоті трубі швидкості потоку.

У роботі показано, що інфраструктура промислового майданчика ТЕС має істотний вплив на локальну тепловіддачу димової труби ТЕС в області нижче даху машинного залу, що зумовлено впливом приземного шару, відривними та тривимірними течіями.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Отримані в роботі результати є більш точними та обґрунтовані при розрахунках режиму роботи нових димових труб, а також димових труб, що знаходяться в експлуатації ТЕС. Крім того, отримані результати можуть бути використані для оцінки залишкового ресурсу димової труби з урахуванням деградації її внутрішнього стану у процесі експлуатації. Отримані результати використані у науковій роботі «Розроблення методів і засобів підвищення експлуатаційної надійності та екологічної ефективності димових труб теплоенергетичних установок» (договір № 1-102/02, тема № 1.7.1.890) в рамках Цільової програми наукових досліджень Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України, реєстраційний № 0120U101123.

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертації висвітлені у шести наукових публікаціях здобувача, серед яких: п'ять статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; одна стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованих у базі Scopus (Q4).

Також результати дисертації були апробовані на 6 наукових фахових конференціях.

Публікації виконано на високому рівні з доступним викладенням матеріалу. В наукових публікаціях дотримано всі вимоги академічної доброчесності.

Здобувач особисто брала участь в розробці, верифікації та тестуванні процесу чисельного моделювання зовнішньої аеродинаміки і локального теплообміну біля конічної димової труби за різних граничних умов, що було реалізовано у програмному пакеті ANSYS 2020-R1. Проводила аналіз та узагальнення результатів чисельного (комп'ютерного) моделювання.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Не зовсім зрозуміло чому для опису теплопереносу потрібно записувати два рівняння енергії (2.1) і (2.5). Для чого потрібно рівняння для повної ентальпії потоку і просто ентальпії потоку (розділ 2, стор. 57).
2. Для опису гідродинаміки і процесів теплопереносу використовуються нестационарні рівняння, але при цьому в розділі 2 розглядаються лише граничні умови, але немає згадки про початкові умови.
3. Серед переваг чисельного моделювання вказується пункт б, де стверджується, що це вказує на відсутність «необхідності виготовлення фізичних прототипів». Цей пункт є дискусійним, оскільки без виготовлення фізичного прототипу або проведення експериментальних досліджень на реальному об'єкті неможливо провести верифікацію отриманих чисельних результатів.
4. В розділі 4 наведені порівняння отриманих чисельних результатів для коефіцієнта теплообміну по поверхні димової труби в умовах забудови з результатами класичного розрахунку при обтіканні циліндра. Бажано було б провести порівняння з експериментальними даними для реальних димових труб.
5. Було б доцільно показати яким чином можна врахувати отримані розподіли коефіцієнтів тепловіддачі по поверхні димових труб при реальній забудові на розрахунок тепловіддачі на внутрішній поверхні труби, що є основною задачею при проведенні подібних розрахунків.
6. В тексті дисертації є стилістичні помилки – в розділі 1 замість «ступінь турбулентності» необхідно використовувати «ступінь турбулентності»; замість «поперечний перетин» необхідно використовувати «поперечний переріз» та деякі інші.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

## Висновок про дисертаційну роботу

**Висновок про дисертаційну роботу**  
Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Чиркової Анни Петрівни на тему «Особливості зовнішньої аеродинаміки та теплообміну димових труб у міській інфраструктурі та на майданчику ТЕС» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для 10 Природничі науки. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Чиркова Анна Петрівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

**Офіційний опонент:**

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри інженерії енергосистем,  
Навчально-наукового інституту енергетики,  
автоматики і енергозбереження,  
Національного університету біоресурсів  
і природокористування України

Валерій ГОРОБЕЦЬ

