

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**ЧИРКОВОЇ АННИ ПЕТРІВНИ**

на тему «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.**

Безумовно тема дисертації актуальна на сучасному етапі розвитку України, адже на протязі багатьох десятиріч теплові електростанції, що працюють на органічному паливі, залишаються основним промисловим джерелом генерації електроенергії. При цьому теплоенергетика відноситься до екологічно небезпечних галузей промисловості і характеризується великою кількістю відходів. Викидами в атмосферу ТЕС завдають найбільшої шкоди природному середовищу тому, що значна частина ТЕС працює на твердому та рідкому паливі і у викидах переважають вугільна або сланцева зола і оксиди сірки. Це примушує до вдосконалення і впровадження нових ефективних технологій для ТЕС, проведення науково-дослідних робіт, які спрямовані на розробку перспективних технологій максимального уловлювання шкідливих речовин, у тому числі парникових газів від продуктів згорання палива, забезпечення екологічної безпеки ТЕС. Винятково важливу функцію розсіювання шкідливих газоподібних викидів і пилу виконують висотні димові труби, які є невід'ємними компонентами сучасних ТЕС та будуються вищими за всі основні міські будівлі. Місцеві умови та інфраструктура об'єктів, які знаходяться на території ТЕС, впливають на умови обтікання та аеродинаміку димових труб та визначають теплові і фізико-хімічні процеси всередині труби, що обумовлює актуальність та необхідність проведення науково-дослідних робіт, яким присвячено дисертацію.

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

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів забезпечується застосуванням адекватної математичної моделі, коректністю постановки задачі та методів її чисельної реалізації. Результати чисельного експерименту, задовольняють законам збереження, а також підтверджуються експериментальними і теоретичними дослідженнями, що виконані іншими авторами. Отримані в роботі результати формулюють більш точні та обґрунтовані рекомендації в частині графіка режиму роботи нових димових труб, а також димових труб, що знаходяться в експлуатації ТЕС, вони також можуть використовуватися для оцінки залишкового ресурсу димової труби з урахуванням деградації її внутрішнього стану у процесі експлуатації.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:



Вперше, за допомогою чисельного моделювання виявлено періодичний характер зміни швидкості, тиску, температури та коефіцієнта тепловіддачі в кормовій частині конічної димової труби при її поперечному обтіканні для різних граничних умов.

Установлено, що конусність труби не впливає на середню по висоті труби тепловіддачу для рівномірного профілю швидкості вітру у нескінченному просторі на вході труби.

Вперше показано, що інфраструктура міського простору та промислового майданчика ТЕС має істотний вплив на локальну тепловіддачу димової труби ТЕС, що зумовлено впливом шару біля земної поверхні на граничні умови, відривними та тривимірними течіями.

Виконано дослідження та отримано нові результати, що характеризують аеродинаміку та теплообмін біля зовнішньої поверхні димової труби за умов сумісного впливу інфраструктури міського простору та промислового майданчика ТЕС.

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

### **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 співпадиння, 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.

### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою, достатньо грамотною, послідовно, доступно за викладенням, з застосування загальноприйнятої наукової термінології.

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. 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. 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. 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. Визначено, що конусність труби практично не впливає на середню тепловіддачу 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. Розроблено спрощену геометричну та комп'ютерну моделі майданчика ТЕС, які враховують основні елементи її інфраструктури. 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. Виконано порівняльний аналіз розподілу локальної тепловіддачі по висоті труби при різному напрямку вітру.

У **висновках** відображено основні результати роботи.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

#### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертації висвітлені у 12 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату



опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus.

Також результати дисертації були апробовані на 6 наукових фахових конференціях.

Науковий рівень публікацій здобувача достатньо високий та відповідає сучасним вимогам до наукових публікацій і принципам академічної доброчесності. В переважній більшості публікацій здобувач приймав участь у постановці задач, вирішенні їх, обробці результатів досліджень, їх аналізі та написанні текстової документації та ілюстративного матеріалу.

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

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

1. В дисертації, на жаль, не указано можливість практичного використання результатів досліджень під час проектування та експлуатації висотних димових труб конічної форми з урахуванням аеродинаміки та теплообміну оточуючої інфраструктури промислового майданчику ТЕС (відсутність Актів впровадження).

2. Доцільно було би зробити оціночні розрахунки з покращення екологічної обстановки навколо розглянутих ТЕС та зменшення обсягів парникових газів в разі врахування результатів досліджень наведених в дисертаційній роботі.

3. У дисертації як граничні умови використано певний діапазон зміни швидкості вітру та його температури. Слід обґрунтувати вибір цього діапазону.

4. Під час чисельного моделювання аеродинаміки та теплообміну в умовах інфраструктури не розглянуто тестування моделі турбулентності.

5. В дисертації під час наведення значень відстані від основи труби (див. наприклад, рис. 2.1, рис. 3.1, табл. 2.2, стор. 45, 70, 81, 82 та інші) використовуються позначення, які не відповідають Міжнародній системі одиниць СІ, що суперечить вимогам до оформлення дисертацій.

6. На жаль, в дисертації немає розділу “Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів”, тому приходить довго шукати по тексту, що позначають ті або інші скорочення та символи, а інколи немає можливості їх знайти, зокрема, наприклад, в таблиці 2.2 невідомо, що позначає параметр  $Y_{\text{max}}$  і деякі інші по тексту.

7. Оформлення дисертації:

- Деякі рисунки, наприклад, рис. 3.2, рис. 3.3, рис. 3.5 та інші мають дуже дрібні підписи позначень шкал змінних параметрів, що перешкоджає аналізу отриманих результатів.

- Присутня неоднозначність використання наукової термінології та невідповідність граматики української мови, наприклад, “пограничний шар”, стор. 37, 38, “прикордонний шар” 40, 41, 43, 44; “ступень турбулентності” стор. 40, 41, “ступень турбулентності” стор. 38, 41; “круглий циліндр” стор. 3, 16, “круговий циліндр” стор. 48 і інше.

- Мають місце помилки та описки (стор. 2, 3, 4, 22, 24, 30, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 51, 52 і 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.

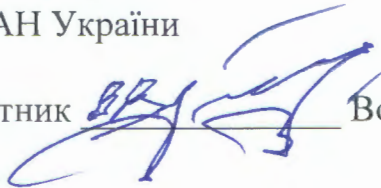
### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Чиркової Анни Петрівни на тему «Особливості зовнішньої аеродинаміки 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 природничих наук. 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 природничих наук за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

### **Офіційний опонент:**

Завідувач відділу гідродинаміки  
хвильових та руслових потоків  
Інституту гідромеханіки НАН України  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник



Володимир ВОСКОБІЙНИК

«28» травня 2024 року

Підпис Володимира ВОСКОБІЙНИКА засвідчую.  
Заступник директора Інституту гідромеханіки  
НАН України з наукової роботи  
д.ф.-м.н., проф.



Наталія ГОРОДЕЦЬКА

М.П.