

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кочіної Марії Вікторівни
"Керування когерентними вихровими структурами в камерах змішування криловими вихорогенераторами", представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми

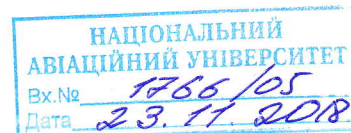
Дисертацією є рукопис, що складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури з 140 літературних джерел і додатків зі списком публікацій здобувача і відомостями про апробацію результатів дисертації та з Актом впровадження результатів роботи на Монастирищенському котельному заводі ТОВ МВВФ «Енергетик». Містить 121 сторінку основного тексту, 45 рисунків і 8 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 169 сторінок.

Значний технічний та технологічний прогрес, який спостерігається майже у всіх країнах світу, обумовлює підвищені вимоги до екології навколишнього середовища та збереження енергоресурсів. Дисертаційну роботу Кочіної Марії Вікторівни присвячено проблемі пошуку найбільш раціональних методів малозатратного керування процесами переносу в зсувних потоках енергетичних і технологічних апаратів вихрового типу, зокрема на енергоємні вихрові структури у вихрових камерах. Ці дії пропонується здійснювати кінцевими вихровими джгутами, генерованими нерухомим крилом малого видовження, що вмонтоване в проточному тракті впускного сопла камери змішування. Це дає можливість за умови виконання положень принципу взаємної сприйнятливості вихрових структур впливати на підсилення або гальмування механізмів конвективного переносу усередині вихрових камер при мінімальних затратах енергії. Таким чином, тема дисертаційної роботи, спрямованої на розробку одного із новітніх способів реалізації ефективного методу керування структурою течії в камерах змішування, є важливою та актуальною як з наукової, так і практичної точки зору.

Роботу виконано у відповідності до загальнодержавної програми збереження енергоресурсів на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки та механотроніки Механіко–машинобудівного інституту КПІ ім. Ігоря Сікорського відповідно до діючого Договору № 1 про творче співробітництво від 29.11.2006 р. з Інститутом гідромеханіки Національної академії наук України за темою: «Дослідження закономірностей внутрішніх закручених течій і методів управління ними». У роботі використано фізичне моделювання нестационарного вихрового потоку усередині вихрової камери та обтікання крилових вихорогенераторів у її вхідному соплі з застосуванням візуалізації та термоанемометрії течії. Обробку і аналіз результатів вимірювань здійснено за допомогою сучасних методів теорії ймовірності та математичної статистики.

1. Структура дисертації

У вступі наведено необхідні структурні елементи дисертації, а саме,



актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами та темами, сформульовано мету і методи дослідження, об'єкт і предмет дослідження, визначена наукова новизна, практичне значення, достовірність і апробація результатів, особистий внесок здобувача у публікаціях.

У *першому розділі* дисертації наведено опис проблеми, огляд стану наукових досліджень нестационарних процесів обмежених закручених потоків і керування ними у вихрових камерах. На основі критичного аналізу літературних джерел обґрунтовано актуальність вибору теми дисертаційної роботи, сформульована її мета, методи та засоби дослідження, а також перелік задач, які треба розв'язати для досягнення поставленої мети.

У *другому розділі* дисертації зроблено обґрунтування методики експериментального дослідження та створення експериментальної установки. Приведено схему експериментальної установки, опис її складових, контрольно-вимірювальної апаратури та систем реєстрації, обробки та аналізу експериментальних даних. Наведені дані про методику та результати калібрування термоанемометрів. Описано особливості вібродіагностики експериментальної установки, виявлені джерела підвищених вібрацій та проведені роботи по зменшенню вібраційних і електромагнітних перешкод. Визначено особливості формування вхідного потоку до вихрової камери та забезпечено плавність і однорідність течії за допомогою лемніскатного сопла. Приведено конструкції крилових профілів малого видовження, які використовуються як пасивні засоби керування енергоємними вихорами. Наведені засоби та методи візуалізації вихрової течії усередині вихрової камери та кінцевих вихорів, які відриваються від крилових вихорогенераторів. Проведено планування експериментів і визначено домінуючі фактори. Зроблено аналіз похибок експериментальних результатів.

У *третьому розділі* дисертації проведено математичне обґрунтування реалізації запропонованого способу, сформульовано фізичні та розрахункові передумови керування енергоємними вихорами у вихровій камері. В результаті оцінки ефективності застосування крила як вихорогенератора в умовах вихрової камери визначено та отримано аналітичний вираз критерію його ефективності. На підставі запропонованого критерію ефективності доведено, що найбільш раціональним в діапазоні чисел Рейнольдса від 50000 до 100000, розрахованих по еквівалентному діаметру сопла та середній швидкості у ньому, є застосування в якості вихорогенератора крил малого видовження. Визначено оптимальний профіль крила (MB253515) для здійснення спрямованого керування енергоємними вихровими структурами в досліджуваній камері змішування.

У *четвертому розділі* дисертації наведені результати візуалізації течії, термоанемометричного дослідження полів швидкості та розрахунків ефективності використання генераторів вихорів для керування енергоємними вихровими структурами усередині вихрової камери з тупиковою частиною. Для оцінки ефективності керувальних впливів на енергоємні вихрові структури в камері були проведені вимірювання актуальних швидкостей як в тупиковій частині вихрової камери, так і у вихідному перерізі її, а також зареєстровані

усереднені за часом та пульсаційні складові швидкості. Це дозволило визначити відносні інтенсивності та енергію пульсацій швидкості за відсутності керувальної дії та за наявності крилового вихорогенератора типу MB253515, який обтікався потоком за безвідривними кутами атаки. Гістограми розподілу ймовірностей миттєвих швидкостей показали як детермінований, так і стохастичний характер турбулентної течії усередині вихрової камери. Під час застосування крилових вихорогенераторів виявлено явище перерозподілу енергії пульсацій від дрібномасштабних високочастотних вихорів до великомасштабних вихрових структур, що дозволяє використовувати його для керування аерогідродинамічними процесами змішування середовищ у вихрових камерах аерогідротехнічних і теплоенергетичних апаратів.

В результаті експериментального дослідження було виявлено, що ефективність запропонованого методу керування енергоємними вихровими структурами в камері змішування обумовлена збільшенням усереднених значень відносної інтенсивності пульсацій швидкості на виході з камери від 10 % до 63 % при зростанні аеродинамічного опору камери на величину, не більше похибки вимірювань.

У висновках узагальнено основні наукові та практичні результати.

У додатках наведено наукові праці автора, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації, та Акт впровадження їхнього практичного використання.

В цілому, дисертація М.В. Кочіної характеризується завершеністю, задовільною структурою та логічною послідовністю викладення матеріалу. Висновки за окремими розділами, а також загальні висновки дисертації відповідають отриманим в ній науковим і практичним результатам.

2. Мета та задачі досліджень

Мета роботи полягає в розробці ефективного способу спрямованого керування енергоємними вихровими структурами у камерах змішування за допомогою кінцевих вихорів від нерухомих і відносно тонких крилових елементів, які вмонтовані у впускному соплі камер.

Досягнення поставленої мети вимагало виконання таких задач:

- на основі аналізу фізичної картини течії в обмеженому просторі вихрової камери змішування з розвиненою тупиковою частиною обґрунтувати можливість ефективного і малозатратного керування енергоємними вихорами;
- розробити програму і розрахункову методику експериментального дослідження фізичного механізму керувальних впливів на енергоємні вихори застосуванням нерухомих крил у впускному соплі вихрової камери та знайти критерій ефективності такого застосування;
- здійснити обґрунтований вибір найбільш раціональних геометричних та аеродинамічних параметрів крил для спрямованих керувальних дій;
- дослідити особливості формування керувальних вихрових шнурів і розробити аеродинамічну модель крилового вихорогенератора, яка

може бути узгодженою з характеристиками керованої енергоємної вихрової структури відповідно до принципу взаємної сприйнятливості вихрових утворень;

- проаналізувати реакцію енергоємних вихорів у тупиковій та проточній частинах камери на керувальні дії соплового вихорогенератора і здійснити узагальнення отриманих експериментальних результатів та надати практичні рекомендації щодо запропонованого способу керування структурою течії у вихровій камері змішування.

3. Наукова новизна дисертаційної роботи

У дисертації М.В. Кочіної отримано нові наукові результати, зокрема вперше:

- отримано критерій оцінки ефективності крилових вихорогенераторів для керування інтенсивністю процесів перемішування усередині камери змішування із зосередженим тангенціальним підведенням середовища;
- запропоновано розрахунково-експериментальний метод вибору найбільш ефективної конструкції соплового вихорогенератора для спрямованого керування енергоємними структурами у вихрових камерах змішування у діапазоні чисел Рейнольдса від 50000 до 100000;
- розроблено обґрунтування методики узгодження характеристик керувальних впливів на енергоємні вихрові системи обмежених течій у полях відцентрових сил на підставі принципу взаємної сприйнятливості вихрових структур;
- експериментально доведена можливість раціональним вибором параметрів крилових елементів соплового вихорогенератора суттєво підвищити інтенсивність пульсацій швидкості течії, а отже, процесів переносу маси, імпульсу та енергії в обмежених закручених потоках камер змішування.

4. Практична цінність дисертаційної роботи

Запропонована методика керування енергоємними вихровими структурами за допомогою крилових вихорогенераторів у вхідних соплах дозволяє використовувати в інженерній практиці проектування камер змішування опубліковані дані продувок аеродинамічних профілів. Показана можливість здійснення ефективного керування енергоємними вихровими структурами усередині камер змішування на основі принципу взаємної сприйнятливості вихрових структур, який раніше застосовувався, головним чином, щодо керування ламінарно-турбулентним переходом в примежових шарах. Розроблений спосіб малозатратного керування структурою обмеженої течії в полі відцентрової сили відкриває перспективу вдосконалення існуючих конструкцій камер змішування та розробки новітнього обладнання з

покращеними масогабаритними, енергетичними, екологічними показниками та ресурсом експлуатації.

Результати дисертаційного дослідження отримали практичне застосування, що підтверджено патентом України на корисну модель та Актом впровадження, який наведено у додатках дисертації.

5. Достовірність результатів дисертаційної роботи

Наукові положення, висновки і рекомендації в дисертації, їх достовірність та наукова новизна базуються на коректній постановці наукових задач фізичного моделювання процесів на основі фундаментальних положень аеродинаміки та статистичної обробки результатів експериментів. Достовірність отриманих результатів обумовлена використанням випробуваних методів дослідження відповідно до прийнятих стандартів, застосуванням методики контрольних вимірювань профілів швидкості на еталонній моделі для різних режимів течії. Порівняння їх з класичними даними теорії примежового шару, чіткою логікою розв'язання поставлених задач, застосуванням сучасної методики статистичної обробки інформації та узагальнення експериментальних даних, а також узгодженням результатів розрахунків з даними експериментів.

6. Повнота викладення основних результатів в опублікованих працях

Зміст дисертаційної роботи достатньо повно наведено в 23 роботах, які опубліковано з 2013 р. по 2018 р. За темою дисертації опубліковано 5 праць в наукових журналах, що входять у список фахових видань з технічних наук, затверджених ДАК України. Серед них 3 статті опубліковані у виданнях, внесених до міжнародних наукометричних баз. Отримано 1 патент України на корисну модель. Додатково результати роботи висвітлено в 17 публікаціях, які входили в збірники та праці конференцій. Особистий внесок здобувача в опублікованих зі співавторами публікаціях відображено в дисертації та в авторефераті.

Викладення автореферату та основних положень дисертації ідентично. Практичну частину дисертаційної роботи підтверджено відповідним патентом України на корисну модель та Актом впровадження.

7. Зауваження за змістом дисертації та автореферату:

7.1. У розділі достовірність отриманих результатів сказано, що проведено узгодження результатів розрахунків з даними експериментів. В якому розділі дисертації проведено це узгодження?

7.2. Чому під час планування експерименту було вибрано повний факторний експеримент з урахуванням чотирьох домінуючих факторів, а не було зроблено оптимізації кількості дослідів?

7.3. Чому не було зроблено оцінки коефіцієнту асиметрії для статистичного опису досліджуваних швидкостей адже четвертий момент було розраховано?

7.4. У дисертації на стор. 115, на жаль, не наведено залежність для розрахунку циркуляції трикутного крила.

7.5 У четвертому розділі дисертації наведено результати вимірювання осереднених та пульсаційних складових осьової та колової швидкостей (рис. 4.10 та рис. 4.11) у вихідному перерізі вихрової камери, але не указано на якій відстані від вхідного сопла знаходився цей переріз.

7.6. На рис.2.12 показано не середньоквадратичні значення віброприскорень, а осцилограми віброприскорень (їх середні та пульсаційні складові). Так, згідно до цих кривих на двигуні найбільше інтенсивними є вібрації з частотою близько 3,5Гц, а середні значення прискорень не дорівнюють нулю, а є позитивними величинами. Це вказує на те, що віброакселерометри знаходяться у прискореному русі, на який накладено пульсації прискорення. Що це може бути, можливо це постійні складові живлення підсилювачів акселерометрів, але чому вони відрізняються для різних компонент вимірюваних віброприскорень?

7.7. На жаль, не виміряні вібрації державки з датчиками та не отримані власні частоти координатної системи. Оскільки датчики розташовуються на консольній державці у досліджуваному потоці з достатньо великим видовженням, то вібрації термоанемометричних датчиків можуть бути суттєвими, особливо їх поперечні складові. Таким чином термоанемометри будуть вимірювань разом зі швидкістю течії ще й коливальну швидкість державки, що значно збільшує похибку вимірювань.

7.8. В текстах дисертації та автореферату мають місце незначні стилістичні помилки та описки.

8. Висновки щодо відповідності дисертації вимогам п. 11, 13 і 14 “Порядку присудження наукових ступенів”

Вище зроблені зауваження не є принциповими, вони не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, що рецензовано. Дисертація Кочіної М.В. *“Керування когерентними вихровими структурами в камерах змішування криловими вихорогенераторами”* є завершеною науковою роботою, яка містить вирішення актуального наукового завдання з розвитку методів фізичного моделювання, підвищення ефективності використання вихрових камер змішування і створення об’єктів нової техніки і технологій в галузях літако- та автомобілебудування, теплоенергетики, машинобудування та інших.

Дисертаційна робота М.В. Кочіної відповідає паспорту спеціальності 01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми, профілю спеціалізованої вченої ради Д26.062.05. Робота характеризується єдністю викладення та засвідчує про особистий внесок здобувача в науку.

На підставі проведеного аналізу дисертаційної роботи Кочіної М.В. *“Керування когерентними вихровими структурами в камерах змішування*

криловими вихорогенераторами” є можливість зробити висновок у тому, що за актуальністю вирішеного завдання, отриманими новими науковими результатами та практичною цінністю роботи, доведеної до промислового використання, вона відповідає пунктам 11, 13 і 14 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету міністрів України № 567 від 24.07.2013 р., зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 27 липня 2016 р., в частині дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а її автор, Кочіна Марія Вікторівна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми.

Офіційний опонент
Провідний науковий співробітник
відділу гідробіоніки та керування примежовим шаром
Інституту гідромеханіки НАН України,
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник

В.А. Воскобійник

22 листопада 2018 р.

Підпис В.А. Воскобійника затверджую
Учений секретар
Інституту гідромеханіки НАН України,
доктор фізико-математичних наук,
професор



Н.С. Городецька