

## ВІДГУК

**офіційного опонента на дисертацію 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

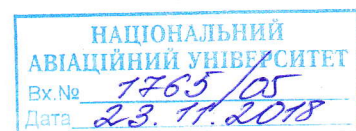
### **Актуальність теми та її зв'язок з науковими програмами.**

Невпинний розвиток сучасних технологій визначає необхідність постійного підвищення вимог до ефективності, надійності та екологічності енергетичного обладнання, в тому числі апаратів вихрового типу (вихрових камер), які використовуються у котлах, циліндрах двигунів внутрішнього згоряння, камерах ракетних двигунів, змішувачах тощо. Удосконалення масообмінних, фізико-хімічних та електрофізичних процесів у таких камерах можна досягти шляхом пошуку найбільш раціональних методів керування структурою течії в потоках рідин і газів.

Традиційно аналіз процесів переносу енергії та маси у вихрових камерах і реалізація керувальних впливів на структуру течії базувалися на зміні її інтегральних картин. Це було пов'язано, в тому числі, з недостатністю інформації щодо окремих вихрових складових різних масштабів в потоках рідин і газів.

Одним з досягнень здобувачки є те, що у роботі досліджується вплив на структуру течії шляхом керувальних дій саме на її окремі складові – когерентні вихрові структури. Організація спрямованих керувальних дій на найбільш енергоємні когерентні вихрові структури (ЕКВС), які генерують низькочастотні складові турбулентного руху та зумовлюють максимальний внесок в турбулентну дифузію, є одним з найбільш раціональних методів керування структурою течії у вихрових камерах. Тому тема дисертаційної роботи, яка спрямована на розробку одного з способів реалізації такого підходу до керування вихровими структурами для удосконалення масо- та енергообмінних процесів в апаратах змішування вихрового типу, є актуальною науковою задачею.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується тим, що дослідження проводилися в рамках виконання договору про творче співробітництво між кафедрою Прикладної гідроаеромеханіки та механотроніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" та Інститутом гідромеханіки НАН України за темою: "Дослідження закономірностей внутрішніх закручених течій і методів управління ними".





**Оцінка структури та змісту дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і двох додатків (список опублікованих праць та відомості про практичне застосування результатів). Її загальний обсяг становить 169 сторінок машинописного тексту, 121 сторінку основного друкованого тексту, 8 таблиць, 45 рисунків. Список використаних джерел містить 140 найменувань.

**У вступі** наведено всі необхідні для кандидатської дисертації положення: обґрунтовано актуальність теми роботи; сформульовано мету, задачі, об'єкт, предмет і методи дослідження; показано наукову новизну одержаних результатів та їх практичне значення; викладено відомості про особистий внесок здобувача; наведено дані про апробацію результатів досліджень, опубліковані праці, структуру та обсяг дисертаційної роботи.

**У першому розділі** роботи проведено критичний аналіз наукової літератури щодо особливостей масо- та теплопереносу у вихрових камерах та методів впливу на структуру і характеристики течії. На основі проведеного аналізу обґрунтовано актуальність вибору теми дисертаційного дослідження, сформульована мета роботи, а також перелік задач, які необхідно розв'язати для досягнення поставленої мети.

Автор проаналізувала роботи Вуліса Л.А., Гольдштіка М.О., Щукіна В.К., Халатова А.А., Авраменко А.О., Волчкова Е.П., Гупти А., Ліллі Д., Сайреда Н., Мочаліна Є.В. та багатьох інших авторів, що присвячені дослідженню організації та поведінки закручених потоків і їх практичному використанню. Вона зазначила, що організація процесів переносу у внутрішніх течіях в каналах та камерах переважно розглядається на макрорівні, пропонуються графіки та розрахункові залежності розподілу усереднених параметрів потоку або сукупності умовних траєкторій течії.

Аналіз досліджень Бабенка В.В., Турика В.М., Макаренка Р.О., Воскобійника В.А. та Воскобійника А.В. свідчить, що крім інтегрального аналізу течії у вихрових камерах та розробки на його основі методів керування турбулентним переносом в обмежених закручених потоках одним з найбільш перспективних напрямків покращення процесів ефективного змішування потоків у вихрових камерах можна вважати метод спрямованих впливів на ЕКВС на стадії їх формування. Тому розробці саме такого методу керування ЕКВС у вихрових камерах і було присвячено дисертаційну роботу, що розглядається.

**Другий розділ** присвячений розробці загальної методики планування та проведення експерименту, описано заходи удосконалення експериментальної установки для дослідження макро- і мікроструктури течії, зокрема для зменшення механічних вібрацій елементів аеродинамічного стенда. Наведені



результати попередньої візуалізації та термоанемометрування течії в порожнині вихрової камери, а також візуалізації обтікання керувального елемента після його встановлення у сопловому пристрої.

Проведено попереднє термоанемометрування по всій довжині тупикової зони вихрової камери з виділенням двох найбільш характерних точок для детального порівняльного аналізу в пристінній області тупикової частини камери: одна точка – безпосередньо в зоні ЕКВС, а інша – на віддаленні від неї в зоні дії Тейлор-Гьортлерівських вихрових структур ближче до вхідного сопла. Наявність кінцевих вихорів на крилі вихорогенератора була наочно підтверджена контрастною картиною обтікання крила — спостерігався характерний “намив” попередньо нанесеної масляної плівки (розчину чорної сажі в олійній фарбі) з нижньої на верхню поверхню крила.

Під час планування експерименту проведено аналіз трьох характерних типів крила-вихорогенератора: прямокутне крило в плані з профілем MB253515, прямокутне крило в плані з профілем у вигляді плоскої пластини і трикутне крило в плані з профілем у вигляді плоскої пластини, з яких вибирався найбільш ефективний для досягнення мети роботи.

**Третій розділ** присвячено розробці методики оцінки ефективності крилового елемента у впускному соплі камери та побудові аеродинамічної математичної моделі крилового вихорогенератора. Автор запропонувала критерій ефективності використання крила-вихорогенератора та провела аналіз основних факторів впливу на нього. Доведення здійснено двома етапами. На першому етапі розглянуто безмежне обтікання крила, де затрати енергії потоку на утворення та підтримку кінцевих вихрових шнурів за одиницю часу можна вважати корисною потужністю крила як вихорогенератора. За результатами теоретичної оцінки ефективності застосування крила як вихорогенератора в умовах вихрової камери отримано аналітичний вираз критерію ефективності  $\eta$ , який дорівнює відношенню витраченої на утворення та підтримку вихрових шнурів потужності до повної аеродинамічної потужності крила. Також після дослідження отриманої функції визначено, що найбільший вплив на критерій ефективності  $\eta$  має відносне видовження крила  $\lambda$  та коефіцієнт підйомної сили  $C_y$ , в той час як аерогідродинамічна якість крила  $K_\infty$  виявляє незначний вплив на нього.

Другим етапом доведення було врахування впливу на індуктивний опір крила близькості обмежуючих стінок проточного тракту вхідного сопла вихрової камери, тобто “тунельний ефект”. На підставі запропонованого критерію ефективності доведено, що найбільш раціональним є застосування в якості вихорогенератора крил малого видовження. Здійснено пошук



оптимального профілю крила для характерного діапазону чисел Рейнольдса  $Re = 40\ 000 \div 100\ 000$ . Для досягнення максимальних значень коефіцієнта підйомної сили  $c_y$  при найширшому діапазоні відповідних безвіддривних кутів атаки і мінімальних величинах коефіцієнта лобового опору, а також у разі незначної залежності  $c_y$  від числа  $Re$ , найбільш прийнятним обрано профіль типу MB253515 для здійснення спрямованого керування енергоємними когерентними вихровими структурами.

**У четвертому розділі** наведено результати експериментального дослідження ефективності керування когерентними вихровими структурами. Експериментально підтверджена наявність стійких кінцевих вихорів на крилах-вихорогенераторах за умов їх обтікання у проточному тракті впускного сопла камери. Аналіз гістограм розподілу осьової та колової складових миттєвої швидкості для кожної з 12 досліджуваних точок поля течії в тупиковій частині камери показав, що застосування крилового вихорогенератора в соплі камери призводить до зміни законів щільності розподілу ймовірностей порівняно з випадком без керування, що свідчить про вплив керувальних дій на потужну спіралеподібну ЕКВС – головну складову течії середовища у ВК, яка великою мірою впливає на структуру всього потоку.

Здобувач виявила, що у разі роботи вихрових джгутів крилового вихорогенератора в соплі в характерній точці тупикової зони відбувається відчутне зменшення середньої швидкості течії. Натомість, з амплітудно-частотних характеристик впливає таке ж явне зростання амплітуд пульсаційного руху з появою низки нових енергонесучих частот у разі наявності керувальної дії. Зазначене може свідчити про перерозподіл енергії середнього руху на користь енергії пульсацій в результаті взаємної сприйнятливості керувальних вихорів крила і керованої ЕКВС в тупиковій зоні камери. Здійснено узагальнену оцінку ефективності керувальних впливів на ЕКВС в камері на основі даних вимірювання актуальних швидкостей у вертикальному напрямку вихідного перерізу вихрової камери, а також виділення усереднених за часом швидкостей та їх пульсаційних складових. Зростання величин швидкості по мірі наближення до верхньої циліндричної поверхні камери свідчить про дію пристінної зони спіралеподібної ЕКВС в активній частині камери.

Експериментально доведено, що невеликі керувальні дії на вхідний потік вихрової камери криловими вихорогенераторами здатні значно інтенсифікувати процеси масообміну на виході камери при мінімальних втратах енергії на основі принципу взаємної сприйнятливості вихрових структур. Так, має місце збільшення усереднених за вихідним перерізом вихрової камери величин інтенсивності пульсацій швидкості з 10 до 63 % у разі наявності керувальних



дій порівняно з випадком їх відсутності. Разом з тим, експериментально визначені втрати тиску під час роботи вихрової камери з вихорогенераторами в соплі показали, що максимальне зростання втрат не перевищує 1,7 % порівняно з втратами у вихровій камері без соплового керування структурою течії. Таким чином, доведено енергетичну ефективність застосування запропонованого способу керування структурою течії у ВК.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному.

1. У розвитку методів керування когерентними вихровими структурами в камерах змішування, що дозволяє при невеликих керувальних діях на вхідний потік вихрових камер криловими вихорогенераторами значно інтенсифікувати процеси масообміну в камерах при мінімальних втратах енергії.

2. Вперше знайдено критерій оцінки ефективності крилових вихорогенераторів для керування інтенсивністю процесів перемішування в порожнині камери змішування із зосередженим тангенціальним підведенням середовища.

3. Вперше запропоновано розрахунково-експериментальний метод вибору найбільш ефективною конструкції соплового вихорогенератора для спрямованого керування процесами перемішування у вихрових камерах у діапазоні чисел  $Re = 50\ 000 \div 100\ 000$ .

4. Експериментально доведено можливість застосування принципу взаємної сприйнятливості вихрових систем для узгодженості упорядкованих керувальних вихорів, генерованих криловими елементами у вхідному соплі вихрової камери, з керованими ЕКВС з метою суттєвого підвищення інтенсивності пульсацій швидкості течії, а отже, процесів переносу маси, імпульсу та енергії в закручених потоках камер змішування.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій** забезпечується коректністю як постановки задачі, так і використання випробуваних методів дослідження на рівні міжнародних стандартів, застосуванням фундаментальних положень механіки рідини і газу, а також сучасних методик статистичної обробки експериментальних даних. Добре узгодження результатів розрахунків з даними експериментів, а також апробація основних положень дисертації на міжнародних наукових конференціях підтверджують високий ступінь обґрунтованості висновків.

Зміст автореферату повною мірою відображає зміст дисертаційної роботи, її принципові результати та положення.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у розробці способу малозатратного керування ЕКВС у вихровій камері для вдосконалення існуючих конструкцій камер змішування та розробки



новітнього обладнання з покращеними масогабаритними, енергетичними, екологічними показниками та ресурсом експлуатації.

Результати дисертаційної роботи у вигляді практичних рекомендацій знайшли застосування під час розрахунків та проектування пальникових пристроїв котлів і теплообмінного обладнання для підвищення їх ефективності та надійності на підприємстві ТОВ МВВФ “Енергетик”.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати роботи доповідалися і були підтримані на міжнародних науково-технічних конференціях “Промислова гідравліка і пневматика” (м. Суми, 2015 р., м. Вінниця, 2016 р., м. Одеса, 2017 р.), “Гідроаеромеханіка в інженерній практиці” (м. Кіровоград 2014 р., м. Київ, 2015 р. і 2016 р.), “Актуальні проблеми судноплавства, суднобудівництва та судноремонту” (м. Одеса, 2015 р.), “Прикладні задачі математики і механіки” (м. Севастополь, 2013 р.), “Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта” (м. Одеса, 2015 р., м. Одеса, 2016 р.).

**Повнота викладення в опублікованих працях наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Основні положення й результати дисертаційної роботи відображено у 25 наукових публікаціях, з яких 5 статей у журналах, що входять до переліку фахових видань України з технічних наук, з них 3 видання, що включені до міжнародних наукометричних баз даних, 1 патент на корисну модель та 19 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

#### **Зауваження до роботи.**

1. В огляді літератури відсутні посилання на дослідження вихрових структур за допомогою методів комп’ютерного моделювання з використанням сучасних пакетів прикладних програм. На мою думку, поєднання в роботі експериментальних методів дослідження та комп’ютерного моделювання дозволило б отримати широкий спектр результатів.
2. Автор в завданнях дисертації поставила завдання: “Здійснити обґрунтований вибір геометричних та аеродинамічних параметрів крил даного призначення” (стор. 4 дисертації). Таке завдання реалізовано за допомогою атласу профілів, що не дає гарантії, що обраний профіль для вихрогенератору є оптимальним.
3. В роботі невизначено вплив розміру (діаметру) керувальних вихорів на вихрову структуру в камері.
4. Отримані результати досліджень показали, що завдяки керувальним вихорам, енергія пульсацій від дрібних вихорів “перекачується” до більш крупних. Цей факт, у першу чергу, свідчить про упорядкування вихрових структур і не можна стверджувати про покращення

масовіддачі через краще змішування, тому що згідно з дослідженням Брайна Сполдинга зміщення характеризується відношенням дисипації енергії турбулентності до кінетичної енергії турбулентності ( $\epsilon/k$ ).

5. Висновок 2 автореферату не відповідає висновку 2 дисертації.

Крім того, в роботі та авторефераті є незначні орфографічні помилки та неточності.

Зауваження не стосуються основних положень й результатів дисертаційної роботи щодо дослідження процесів керування когерентними вихровими структурами в камерах змішування криловими вихорогенераторами та не знижують її наукової та практичної цінності.

**Висновок.** Дисертація М.В. Кочіної є завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що розв'язують актуальну наукову задачу розробки ефективного методу спрямованого керування ЕКВС у камерах змішування за допомогою кінцевих вихорів від нерухомих крилових елементів, вмонтованих у впускному соплі камер. Ці результати мають важливе значення для розвитку прикладних методів механіки рідини і газу у частині аналізу гідромеханічних процесів, що відбуваються в обмежених закручених потоках робочих середовищ у разі керування ними у вихрових камерах змішування.

За змістом та одержаними результатами дисертаційна робота відповідає вимогам пункту 11 Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, щодо кандидатських дисертацій, а її автор – Кочіна Марія Вікторівна заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми.

Офіційний опонент,  
к.т.н., с.н.с., провідний науковий співробітник  
Відділу високотемпературної термогазодинаміки  
Інституту технічної теплофізики НАН України

С.Г. Кобзар

Підпис Кобзаря Сергія Григоровича засвідчую

