УДК 533.6.08 : 532.574

Кочіна М.В., асп., наук. кер. Турик В.М., к.т.н., доц. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», м. Київ, e-mail: <u>Turick46@gmail.com</u>

ДО КЕРУВАННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ЗМІШУВАННЯ ПОТОКІВ У У ВИХРОВИХ АПАРАТАХ

Вступ

3 метою інтенсифікації або, навпаки, стабілізації та блокування процесів переносу маси, імпульсу та енергії в потоках рідин і газів часто застосовується локальна або глобальна закрутка потоків. Однак дія відцентрових сил та осьових градієнтів тиску в зсувних потоках вихрових камер (ВК) технологічних, енергетичних і транспортних установок може спричиняти формування когерентних вихрових структур (КВС) різної топології та, отже, далеко не завжди очевидні особливості гідроаеродинамічних і теплообмінних процесів [1]. Механізми формування, еволюції та взаємодії таких структур в обмежених закручених потоках вивчені поки що недостатньо. Традиційні підходи до керування потоками в практиці проектування ВК базуються на варіюванні геометричними параметрами обтічних елементів конструкцій апаратів на макрорівні. Такі інтегральні методи керування найчастіше призводять до зростання аерогідродинамічного опору систем. Загальноприйнятих методик щодо принципів керування КВС, зокрема на мікрорівні, дотепер не існує. Вирішення загальної проблеми подальшого підвищення економічності й надійності машин і апаратів вихрового типу має бути спрямоване на розробку новітніх методів керування найбільш енергоємними КВС, які визначають турбулентну дифузію та перемішування робочих середовищ. Певної уваги потребують ВК з подовженою тупиковою частиною, яка використовується як потужний вихорогенератор завдяки наявності в цій зоні вкладених одна в одну стійких коаксіальних вихрових структур попарно протилежного осьового руху [2]. Найбільш потужними утвореннями є спіралеподібні КВС типу «вуса» [3, 4]. Вони починають формуватися в пристінній області камери поблизу вхідного соплового пристрою із зосередженим підведенням газу та розходяться від сопла в сторони проточної та тупикової частин камери. Очевидно, слід вважати доцільною організацію керувальних впливів саме по відношенню до цих КВС згідно з принципом взаємної сприйнятливості вихрових структур [2, 4]. Цьому й присвячена дана робота.

Постановка задачі дослідження

Найбільш перспективним напрямком пошуку ефективних засобів керування структурою течії видається напрямок розвитку методу «тонких» впливів на КВС на стадії їх формування. Мета впливів – забезпечити покращення процесу змішування потоків у ВК. Досліджується спосіб напрямленого керування енергоємними спіралеподібними КВС у вихровій камері стійкими вихровими джгутами, що сходять з бічних крайок нерухомого крила малого видовження, вмонтованого у впускному соплі камери. Певне зростання індуктивного опору крила може бути скомпенсоване зменшеним профільним опором за рахунок дотримування високих вимог до стану обтічної поверхні, а також того, що крило малого видовження має достатньо широкий діапазон безвідривних кутів атаки. Установка в соплі крила з відносно невеликою товщиною профілю не призведе до істотного зростання аеродинамічного опору камери. За цих умов також є можливість забезпечити максимальне значення коефіцієнта підіймальної сили $c_{y,max}$ в достатньо широкому діапазоні чисел Рейнольдса, що важливо для

підвищення ефективності використання крила як вихорогенератора. Певному зростанню с_{у.max}

буде сприяти і наявність екранного ефекту від стінки сопла при ненульових кутах атаки крила. Вирішується задача визначення реакції енергоємних спіралеподібних КВС в тупиковій («пасивній») та проточній («активній») частинах камери на керувальні дії соплового вихорогенератора.

Технічні засоби та методика проведення дослідження

Робоча ділянка експериментальної установки виконана у вигляді прозорої вихрової камери внутрішнього радіуса $r_0=0,051$ м та загальної довжини $L_0=0,635$ м. Поодиноке впускне сопло має тангенціальний по відношенню до порожнини камери проточний тракт прямокутного перерізу $0,02 \times 0,04$ м² із закругленнями по кутах. Для забезпечення зазначених вище умов функціонування соплового вихорогенератора обрано крило профілю з двосторонньою опуклістю типу MB253515 [5]. До вимірювального комплексу стенду входить апаратура термоанемометрування фірми "DISA Elektronik, з'єднана з аналого-цифровим перетворювачем L-264 фірми "L-Card", що встановлений у вигляді плати розширення до IBM-сумісного комп'ютера. Візуалізаційні експерименти супроводжувались кіно- й фотозйомкою при спеціальному освітленні та подальшою комп'ютерною обробкою.

Потужні зсувні шари у тупиковій течії мають впливати на характеристики потоку на виході з вихрової камери. Тому передбачено проведення термоанемометричних вимірювань актуальної швидкості течії у 12 точках вздовж тупикової зони камери у пристінній області течії біля верхньої твірної її циліндричної частини, а також у вихідному перерізі камери. Проведено вимірювання осьової та колової складових швидкості, оскільки вони домінують на більшій частині області тупикової течії.

Результати дослідження та їх аналіз

термоанемометрування Отримані дані дозволяють злійснити статистичний та спектральний аналіз пульсаційного руху в тупиковій області течії, а також дисперсійний аналіз в проточній зоні камери для оцінки реакції КВС типу «вуса» на керувальні дії в сопловому пристрої. Для порівняння гістограм різних вибірок використовувався метод перевірки статистичних гіпотез за критерієм згоди Пірсона χ^2 . При $\chi^2 < \chi^2_{\kappa p}$ ($\chi^2_{\kappa p}$ – критичне значення критерію згоди за Уилсоном-Хілферті) гістограми є статистично нерозрізненими, що безпосередньо не вказує на наявність такого відгуку, проте це не означає неможливості перерозподілу енергії між вихорами різних масштабів. В безпосередній близькості до глухого торця при $L^*=0,75$ криві розподілу χ^2 для обох складових швидкості збігаються з прямою $\chi^2_{\kappa p}$. Ця характерна точка потребує більш детального аналізу як гістограм розподілу складових швидкості (рис. 1), так і амплітудно-частотних характеристик (рис. 2), особливо при їх зіставленні.



Рис. 1. Гістограми розподілу осьової (а) та колової (б)складових миттєвої швидкості в точці L*=0,75

Як видно з рис. 1, при роботі вихрових джгутів крилового вихорогенератора в соплі в зазначеній характерній точці тупикової зони відбувається явне зменшення середньої швидкості течії. Натомість, з амплітудно-частотних характеристик випливає таке ж явне зростання амплітуд пульсаційного руху з появою низки нових енергонесучих частот при наявності керувальної дії. Це може свідчити про перерозподіл енергії середнього руху на користь енергії пульсацій в результаті взаємної сприйнятливості керувальних вихорів крила і керованих КВС в тупиковій зоні камери. Для з'ясування ефекту керування структурою течії в порожнині ВК на її вихідні характеристики проведено аналіз енергетичного балансу пульсаційних швидкостей в залежності від смуги пропускання фільтра нижніх частот в точці *r**=0,823 вихідного перерізу ВК у смузі частот 0–100 Гц.



Рис. 2. Амплітудно-частотні характеристики миттєвих осьових (а) та колових (б) швидкостей потоку

Енергія пульсаційних швидкостей визначається рівнянням E'=0,5D, де D – дисперсія актуальної швидкості. Смуги пропускання цифрового фільтру нижніх частот збільшувалися з 0–5 Гц, 0–10 Гц і далі до 0–100 Гц. Наявність крила-вихорогенератора підвищує енергію пульсаційної швидкості в смузі частот 0–35 Гц приблизно в 1,5–2 рази, а смузі частот 35–85 Гц зменшує її на 20-30%. Таким чином, спостерігається «перекачування» енергії пульсацій від відносно дрібних вихорів до вихорів більш крупних масштабів, які найбільшим чином впливають на процеси переносу маси, імпульсу та енергії в потоках. Виявлено також, що в частотному діапазоні 0–250 Гц наявність вихорогенератора більш ніж на 70% підвищує енергію пульсацій швидкості потоку в тій самій точці $r^*=0,823$ вихідного перерізу вихровий камери.

ВИСНОВКИ

1. Експериментально доведена дієвість принципу взаємної сприйнятливості вихрових структур щодо процесів керування КВС в обмежених потоках у полях відцентрових сил.

2. Відносно невеликі впливи керувальної дії на вхідний потік ВК криловим вихорогенератором значно інтенсифікують обмінні процеси на виході з камери при мінімальних втратах енергії.

3. Виявлене явище «перекачування» енергії пульсацій від дрібних вихорів до більш крупних дозволяє використовувати його для керування гідродинамічними та тепловими процесами у вихрових технологічних і енергетичних апаратах.

Список використаних джерел

1. Lilley A.K. Swirl Flows / A.K. Lilley, D.G. Gupta, N. Syred. - Kent., USA: Abacus Press, 1984. - 475 p.

2. Babenko V. Coherent Vortical Structures Control in Flat and Curvilinear Parietal Flows / V. Babenko, V. Turick // Proc. of the World Congress "Aviation in the 21-st Century" (14-16 Sept., 2003). – Kyiv : NAU, 2003. – P. 2.54–2.58.

3. Турик В.Н. О гидродинамической неустойчивости течений в вихревых камерах / В.Н. Турик // Промислова гідравліка і пневматика. – 2006. – № 3(13). – С. 32–37.

4. Бабенко В. В. Макет вихревых структур при течении потока в вихревой камере / В. В. Бабенко, В. Н. Турик // Прикладна гідромеханіка. — 2008. — Т. 10 (82), № 3. — С. 3 – 9.

5. Selig M. S. Summary of Low-Speed Airfoil Data / M. S. Selig, J. J. Guglielmo, A. P. Broeren, P. Giguère. – SoarTech Publications, Virginia Beach, Virginia, USA, 1995. – Vol. 1. – 292 p.