

УДК 533.6.08 : 53.082.76

Когерентні вихрові структури вихрових камер торцевого типу як фактор керування процесом змішування робочих середовищ**Турик В.М.¹, Кочін В.О.², Мороз В.В.²**

1-КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

2-Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна

Доповідь присвячено пошуку раціонального способу покращення характеристик макро- та мікроструктури потоків на виході з вихрових камер торцевого типу з однобічним підведенням робочих середовищ, яке зазвичай викликає суттєву нерівномірність розподілу кінематичних параметрів, а отже, якість процесів перемішування компонентів. Проведена термоанемометрія профілів швидкостей, інтенсивності їх пульсацій, а також вимірювання гідравлічного опору вихрової камери при різних комбінаціях конструктивних параметрів вихрової камери, які найбільшою мірою впливають на формування стійких когерентних вихрових утворень, показало можливість використання їх в якості керувального впливу на характеристики течії згідно з узагальненим принципом взаємної сприйнятливості вихрових структур. Отримано практичні висновки на підставі порівняння отриманих експериментальних даних при наступних граничних значеннях максимальних діапазонів варіювання визначальних конструктивних параметрів камери: безрозмірна глибина тупикової частини камери відносно діаметра її циліндричної частини 0 і 4,4; кут установки проточної частини вхідного сопла прямокутної форми відносно поздовжньої осі камери -20° і $+20^{\circ}$. Досліди проведено в діапазоні чисел Рейнольдса згідно з параметрами проточної частини сопла $Re = 47080 - 86530$.

Ключові слова: вихрова камера; закручений потік; термоанемометрія; профілі швидкості; інтенсивність пульсацій; когерентні вихрові структури.

Вступ

Одним із способів інтенсифікації процесів тепломасопереносу в високофорсованих енергетичних і технологічних установках є використання закрутки потоків робочих середовищ. Виникаючі під дією відцентрових сил радіальні і осьові градієнти тиску, а також специфічні умови в'язкої відцентрової нестійкості поблизу криволінійних стінок вихрових камер, що найбільш характерно для вихрових камер торцевого типу (ВКТТ) з однобічним тангенціальним підведенням робочого середовища, формують в потоках складні зсувні процеси і тривимірні вторинні течії, що значно ускладнює її структуру [1]. Оскільки найбільш істотний вплив в турбулентну дифузію вносять низькочастотні складові течії, традиційно головна увага приділяється питанням керування великомасштабними вихровими структурами [2]. З цією метою, а також для компенсації певного придушення окремих коливальних складових турбулентного руху рідких частинок в полі відцентрових сил, базові конструкції камер змішування після викінчувальних випробувань ускладнюють, зокрема включенням додаткових елементів [3]. Зазвичай ці міри сприяють процесам перемішування компонентів та його рівномірності по об'єму камер, але підвищують гідравлічний опір, не кажучи про додаткові матеріальні і часові затрати. Зазначена проблема набуває особливого значення при організації якісного змішування окисника та відновника в камерах згоряння на стадії підготовки процесу екзотермічної реакції. Тому пошуки ефективних і нетрадиційних методів керування структурою обмежених закручених потоків є актуальними.

Мета роботи

Мета даної роботи полягає в з'ясуванні реакції структури, а отже, характеристики потоку на виході камери змішування на комплексну зміну таких її конструктивних параметрів: видовження L тупикової зони відносно вхідного сопла від 0 до 4,4 діаметра d_0 циліндричної

частини камери при кутах установки більшої сторони проточної частини прямокутної форми вхідного сопла відносно поздовжньої осі ВКТТ (так званих «осьових кутах» впуску потоку повітря) $\alpha = +20^\circ$ (вхідний струмінь має нахил відносно осі камери в бік її виходу) і $\alpha = -20^\circ$ (вхідний струмінь має нахил відносно осі камери в бік її глухого торця).

Основна частина

В роботі [4] експериментальним шляхом було отримано позитивний досвід керування вихідними характеристиками потоку ВКТТ за рахунок когерентних вихрових структур (КВС), генерованих у видовженій тупиковій зоні дослідної камери практично без додаткових енергетичних затрат порівняно з камерою без такої зони. Попередні досліди було виконано за однакових з наміченими в даній роботі режимних параметрах — величинах відносної довжини тупикової частини камери $L^* = L/d_0$ і фіксованого кута тангенціальності входу потоку повітря до камери $\gamma = 88^\circ$. Але якщо осьовий кут установки вхідного сопла раніше складав лише $\alpha = 0^\circ$, то в даному дослідженні передбачено комплексне варіювання кута $\alpha = 20^\circ; -20^\circ$ та видовження L^* в зазначених вище діапазонах. Дослідна ВКТТ має внутрішній діаметр $d_0 = 0,102\text{ м}$, загальну довжину 635 мм , вхідне тангенціальне сопло має проточну частину розмірами $0,041 \times 0,025\text{ м}^2$, максимальний досліджуваний діапазон чисел Рейнольдса за сопловими параметрами складає $Re = 47000 \div 87000$.

Термоанемометричні вимірювання актуальної швидкості потоку у вихідному перерізі та подальша статистична обробка інформації дозволили провести аналіз картин розподілу усереднених за часом безрозмірних значень трансверсальної $U^* = U/W_a$ та осьової $W^* = W/W_a$ компонент швидкості (W_a — середня за вихідним перерізом камери швидкість потоку), а також величин інтенсивності відповідних пульсацій швидкості $\varepsilon_u = \sqrt{u'^2} / U$ і $\varepsilon_w = \sqrt{w'^2} / W$.

Формування закрученого потоку вихрової камери змішування з видовженою тупиковою частиною до значення $L^* = 4,4$ порівняно з камерою при $L^* = 0$ при майже незмінному гідравлічному опорі супроводжується такими змінами в характеристиках течії на виході з камери.

1. Осьовий кут установки вхідного сопла $\alpha = +20^\circ$.

При $Re=86530$ спостерігається зменшення середньої за перерізом трансверсальної компоненти швидкості U^* на 16% при зростанні середньої відносної інтенсивності відповідних пульсацій швидкості $\bar{\varepsilon}_u$ на 17%. Середня осьова компонента швидкості W^* при цьому збільшується на 24% при зростанні середньої величини $\bar{\varepsilon}_w$ на 1,9%. При $Re=47080$ середня компонента швидкості U^* зменшується на 18% при зростанні середньої інтенсивності пульсацій $\bar{\varepsilon}_u$ на 15,2%. Середня осьова компонента швидкості W^* при цьому збільшується на 5,2%, але величина $\bar{\varepsilon}_w$ зменшується на 2,4%. Нерівноцінне зростання величини W^* при $Re=47080$ для певної компенсації зменшенням трансверсальної компоненти швидкості, а також зменшення величини $\bar{\varepsilon}_w$, можна пояснити збільшенням долі спінового моменту імпульсу макровихору в камері відносно орбітального моменту.

2. Осьовий кут установки вхідного сопла $\alpha = -20^\circ$.

При $Re=86530$ величина U^* зменшується на 22,3% при зростанні величини $\bar{\varepsilon}_u$ на 14,7%. Величина W^* при цьому збільшується на 15,4% при невеликому зменшенні значення $\bar{\varepsilon}_w$ —

на 2%. При $Re=47080$ величина U^* зменшується на 20,6% при дуже незначному зростанні (на 0,2%) інтенсивності пульсацій $\overline{\varepsilon}_u$. При цьому спостерігаються невеликі зменшення як осьової компоненти W^* на 1,3%, так і величини $\overline{\varepsilon}_w$ на 0,2%. Але останні величини сумірні з похибкою вимірювання, тому можна вважати їх мізерно малими. Відсутність компенсуючого ефекту перерозподілу енергії на користь осьової компоненти швидкості, а також зменшення величини $\overline{\varepsilon}_w$, пояснюються аналогічно наведеним вище аргументами для випадку $\alpha = +20^\circ$.

Висновок

Отримані результати створюють основу для подальшої розробки малозатратних та ефективних способів керування робочим процесом в камерах змішування.

Список літератури

1. Schlichting H., Gersten K. Boundary-Layer Theory. Ninth Edition. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 2017. 805 p.
2. Gupta . A. K., Lilley D. Syred G., N. Swirl flows. Abacus Press, Tunbridge Wells, England, 1984. 475 p.
3. Халатов, А. А., Авраменко, А. А., Шевчук, И. В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. К.: Ин-т техн. теплофизики НАН Украины, Т. 4: Инженерное и технологическое оборудование, 2000. 212 с.
4. Turyk, V., Kochin, V., Moroz, V., Miliukov, D. Development of an untraditional technique to control the structure of the output flow from a vortex chamber. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 6, No. 8 (120), 2022. P. 55–64.

Coherent vortex structures of end-type vortex chambers as a factor controlling the mixing process of working media

Turick Volodymyr, Kochin Viktor, Moroz Volodymyr

The report is devoted to the search for a rational way to improve the characteristics of the macro- and microstructure of flows at the outlet of end-type vortex chambers with one-sided supply of working media, which usually causes significant uneven distribution of kinematic parameters, and therefore, the quality of the mixing processes of components. Thermal anemometry of velocity profiles, intensity of their pulsations, as well as measurement of the hydraulic resistance of the vortex chamber at various combinations of design parameters of the vortex chamber, which have the greatest influence on the formation of stable coherent vortex formations, has shown the possibility of using them as a control influence on the flow characteristics according to the generalized principle of mutual susceptibility of vortex structures. Practical conclusions were obtained based on a comparison of the obtained experimental data at the following limit values of the maximum ranges of variation of the determining design parameters of the chamber: dimensionless depth of the dead end part of the chamber relative to the diameter of its cylindrical part 0 and 4.4; installation angle of the flow part of the rectangular inlet nozzle relative to the longitudinal axis of the chamber -200 and $+200$. The experiments were carried out in the range of Reynolds numbers according to the parameters of the flow part of the nozzle $Re = 47080 - 86530$.

Keywords: vortex chamber; swirling flow; thermoanemometry; velocity profiles; pulsation intensity; coherent vortex structures