

УДК 533.6.08 : 532.527

Аналіз варіантів статичного керування характеристиками вихідного потоку вихрової камери

Турик¹ В.М., Кочін² В.О.

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

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

***Анотація.** Розглядається внутрішня задача гідромеханіки стосовно аеродинамічних характеристик закручених течій у вихрових камерах з видовженою тупиковою частиною при турбулентному режимі. Наявність упорядкованої сукупності квазістійких вихрових структур в тупиковій зоні вихрових камер має призводити до певної реакції потоку на виході порівняно з варіантом камери з гранично коротким розташуванням глухого торця. Досліджується реакція вихідного потоку вихрової камери змішування порівнянням експериментальних профілів усередненої швидкості та інтенсивності пульсацій у вихідному перерізі камери при варіюванні глибиною тупикової частини камери і кутів підведення газу відносно її поздовжньої осі. З цією метою за допомогою термоанемометра постійної температури було здійснено вимірювання миттєвих місцевих величин швидкості потоку вздовж вертикального діаметра вихідного перерізу камери з наступною обробкою отриманої інформації згідно зі спеціальними методиками статистичної обробки часових рядів з отриманням інтегральних показників і частотних спектрів.*

***Ключові слова:** вихрова камера, керування, вихрова структура, термоанемометр, профіль швидкості, інтенсивність пульсацій, частотний спектр.*

Традиційно найбільша увага авторів була зосереджена на дослідженнях потоків за завихорювачами різних конструкцій і вивченні інтегральних картин закрученої течії в камерах проточного типу [1,2]. До таких камер відносяться камери згоряння з фронтними пристроями у вигляді регістрів, що типово для газотурбінних двигунів, топкових пальників парових котлів, промислових печей тощо. Набагато менша увага приділялась дослідженням структури потоків у вихрових камерах з однобічним розташуванням глухого торця відносно вузлів тангенціального підведення потоку [3].

Наявність потоку, що складається з упорядкованих вихрових структур різних масштабів і енергії в тупикових зонах вихрових камер (ВК) різної глибини, було вперше виявлено та досліджено в роботах авторів, наприклад [4]. Найбільш характерними з чотирьох виявлених великомасштабних вихрових утворень є дві когерентні вихрові структури (КВС), які поширюються в протилежних осьових напрямках: спіралеподібна енергоємна пристінна структура максимального моменту імпульсу (ЕКВС) та центральний квазітверdotільний торнадоподібний вихор (ЦКТВ), який формується біля диску глухого торця за типом вихору Бюдевадта. ЕКВС зароджується в результаті як взаємодії головної та хвостової частин вхідного напівобмеженого струменя в сопловій області камери, так і злиття модифікованих вихорів тейлор-гьортлерівської природи меншого масштабу. Зазначена система крупних КВС забезпечує найбільш істотний внесок в процеси переносу у тупиковій зоні, яка поглинає до 75% витрати вхідного потоку, однак свій внесок, хоч і меншою мірою, вносять вихори турбулентної природи, генеровані за рахунок дії зсувних ефектів на складних межових поверхнях суміжних крупних КВС в камері.

Зазначена сукупність вихрових структур, трансформована головним чином в ЦКТВ, спрямованого в бік виходу з тупикової частини, при з'єднанні з активною частиною вхідного потоку має неминуче впливати на характеристики потоку на виході з ВК. Тому становить інтерес оцінка ефективності таких найпростіших засобів статичного керування цими характеристиками через впливи на формування структур тупикової течії, як варіювання кутів установки проточного тракту вхідного сопла відносно поздовжньої осі камери, а також глибини її тупикової частини. Пропонується експериментальний метод реалізації цієї мети.

Досліди проведено на експериментальній установці з робочою ділянкою у вигляді вихрової камери внутрішнім діаметром $d_0 = 0,102 \text{ м}$ з одинарним соплом при куті тангенціальності входу потоку $\gamma = 88^\circ$ і розмірах входного отвору сопла $0,041 \times 0,025 \text{ м}^2$. В даній серії дослідів діапазон чисел Рейнольдса за параметрами сопла складав $55000 \div 86500$, Варіюванню підлягали осьові кути отвору сопла в діапазоні $-20^\circ \leq \alpha \leq +20^\circ$, а також відносна відстань глухого торця від входного сопла в діапазоні $L/d_0 = 0 \div 4,4$. За допомогою термоанемометра здійснено вимірювання актуальної трансверсальної складової швидкості у вихідному перерізі ВК на відстані $4,1d_0$ від центра входного сопла. Сигнали з дротяного датчика подавалися не тільки на відповідні прилади термоанемометра, але й до комп'ютера. Обробкою інформації за допомогою спеціалізованих програм були виділені усереднені величини трансверсальної швидкості U і відповідні значення середньоквадратичної пульсації швидкості. Побудовано та проаналізовано графіки профілів безрозмірних величин трансверсальної складової швидкості $U^* = U/W_a$, де W_a – середня за вихідним перерізом ВК швидкість потоку, а також відповідних величин відносної інтенсивності пульсацій $\varepsilon_u = \sqrt{u'^2} / U$ вздовж вертикального діаметра вихідного перерізу ВК.

Для оцінки ефектів статичного керування кінематичними параметрами введено дві характеристики: перша — показник впливу керувальних дій на інтегральну інтенсивність

пульсацій швидкості у вихідному перерізі $k_u = \frac{\bar{\varepsilon}_u - \bar{\varepsilon}_{u,o}}{\bar{\varepsilon}_{u,o}} 100\%$, де $\bar{\varepsilon}_{u,o}$ — усереднене значення

інтенсивності пульсацій за відсутності керувальних дій; друга — показник рівномірності розподілу відносної інтенсивності пульсацій швидкості за перерізом, яку можна оцінити порівнянням розбіжності максимальної і мінімальної величин ε_u і $\varepsilon_{u,o}$ в перерізі відносно $\bar{\varepsilon}_u$

і $\bar{\varepsilon}_{u,o}$, тобто порівнянням величин $K_u = \frac{\varepsilon_u^{\max} - \varepsilon_u^{\min}}{\bar{\varepsilon}_u}$ і $K_{u,o} = \frac{\varepsilon_{u,o}^{\max} - \varepsilon_{u,o}^{\min}}{\bar{\varepsilon}_{u,o}}$ згідно із

співвідношенням $\delta = \frac{K_u - K_{u,o}}{K_{u,o}} 100\%$. Наведемо дані при $Re = 86500$ (табл. 1).

Таблиця 1

Показники впливу керувальних дій на характеристики вихідного потоку

K_u	α^0	$L/d_0 = 0$	$L/d_0 = 4,4$	$k_u, \%$	$\delta, \%$
		0	1,652	1,045	-5,6
	+20	1,091	1,120	+17	+2,6
	-20	1,318	1,077	+14,8	-18,3

Таким чином, варіант вихрової камери з параметрами $\alpha = -20^\circ$, $L/d_0 = 4,4$ забезпечує максимальні значення як інтегральної величини інтенсивності пульсацій, так і рівномірності розподілу її за вихідним перерізом камери. Аналіз спектрів пульсацій в трьох характерних точках вихідного перерізу камери показав особливості перерозподілу енергоємних частот, а отже, внеску в процеси перемішування вихорів різних масштабів.

Список літератури

1. Гунта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки. Москва: Мир, 1987. 588 с.
2. Халатов А.А., Авраменко А.А., Шевчук И.В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежным массовых сил: В 4-х т. – Киев: Ин-т техн. теплофизики НАН Украины, 2000. Т.3: Закрученные потоки. 474 с.
3. Кутателадзе С. С., Волчков Э. П., Терехов В. И. Аэродинамика и тепломассообмен в ограниченных вихревых потоках: монография. Новосибирск: Институт теплофизики СО АН СССР, 1987. 282 с.
Бабенко В. В., Турик В. Н. Макет вихревых структур при течении потока в вихровой камере. Прикладна гідромеханіка. 2008. Т. 10 (82), № 3. С. 3–19.