

УДК 533.6.08 : 532.527

Вплив конструктивних особливостей вихрової камери торцевого типу на характеристики вихідного потоку

Турик¹ В.М., Кочін² В.О., Мороз² В.В., Мілюков³ Д.Є.

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

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

3 - ВАТ "Меридіан" ім. С.П. Корольова, м. Київ, Україна

***Анотація.** Вперше досліджено вплив місця розташування глухого торця вихрової камери циліндричного поперечного перерізу відносно вхідного сопла з тангенціальною проточною частиною на структуру повітряного потоку на виході з камери. Експериментально перевірено можливість використання упорядкованої сукупності квазістійких вихрових утворень в тупиковій зоні камери як керувального фактору дії на параметри вихідного потоку. З цією метою досліджено кінематичні характеристики течії щодо двох граничних варіантів конструкцій: камери з видовженою тупиковою частиною і камери з гранично коротким розташуванням глухого торця в діапазоні чисел Рейнольдса за параметрами сопла $Re \approx 47080-86530$. Статистичною обробкою часових рядів отримано та проаналізовано такі інтегральні характеристики вихідного потоку, як профілі усереднених за часом трансверсальної та осьової проекцій швидкості, а також величин відносної інтенсивності пульсацій відповідних складових швидкості. Аналізуються частотні спектри щодо характерних точок вихідного перерізу вихрової камери.*

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

Поля відцентрових сил в порожнинах вихрових камер (ВК) апаратів різного призначення сильно ускладнюють аерогідродинамічні процеси, створюючи радіальні і осьові градієнти тиску в зсувних течіях, до чого додаються ефекти нестійкості примезових шарів поблизу криволінійних стінок камер [1, 2]. Тому, як правило, при випробуваннях виникають не завжди очікувані особливості робочих процесів теплових двигунів, енергетичних установок та технологічного устаткування, у яких використовується вихровий принцип організації цих процесів. Досвід проектування систем на основі вихрового принципу показує, що чисельне моделювання зазначеного класу турбулентних потоків відомими програмними пакетами дає надто узагальнену картину течії, яка є дуже грубою для вирішення задач пошуку ефективних методів керування структурою течії в апаратах. Це істотно збільшує час доводки виконаних «в метали» ВК і не гарантує отримання найбільш раціональних конструкцій камер. На відміну від досліджень аеродинаміки вихрових апаратів проточного типу, типових для камер згоряння газотурбінних двигунів, топкових пальників промислових печей, парових котлів, плазмотронів тощо [3], дослідженням структури потоків повної закрутки в камерах торцевого типу, тобто з тупиковими частинами, утвореними однобічним розташуванням глухого торця відносно соплового вузла, приділялося значно менше уваги. Течію в тупикових частинах часто називали «мертвою» через традиційну думку про випадковий, нестійкий і навіть «застійний» характер течії в них. Тому вплив тупикових течій на робочий процес і вихідні характеристики вихрових пристроїв практично не вивчався. Зазвичай в практиці проектування систем тупикові елементи, якщо вони технологічно необхідні, намагаються максимально скорочувати. Проте, тупикові частини існують в припоршневих зонах циліндрів двотактних дизелів, в багатьох технологічних і енергетичних апаратах і арматурі торцевого типу, причому їх протяжність може бути різною в залежності від конкретних конструктивних схем пристроїв. Деякі схематичні картини течії в тупикових частинах представлені в роботах [4, 5], але вони не містять кількісних

даних і носять суто ілюстративний, дуже наближений і якісний характер. Лише в роботі [6] було наведено інтегральні дані вимірювань аеродинамічного опору повітропроводу в залежності від відносної площі перерізу вхідного отвору і відносної довжини $L^* = L/d$ тупикової частини. В цій роботі вперше була помічена така особливість: загальні втрати тиску в повітропроводі в значній мірі залежать від глибини тупикової ділянки. Видається парадоксальним, але найбільше значення коефіцієнта опору спостерігається при розміщенні глухого торця врівень з кромкою бічного вхідного отвору ($L^* = 0$). Із збільшенням співвідношення L^* коефіцієнт опору різко зменшується і, починаючи із значення $L^* \approx 0,4$ в досліджуваному авторами діапазоні $0,4 < L^* < 0,9$, становить найменшу свою величину. Це дає підстави для постановки досліджень з метою з'ясування принципової можливості керування структурою потоків використанням фактору глибини тупикових зон ВК, а отже їх кінематичними і динамічними характеристиками, які визначають ефективність пристроїв. Задача визначення механізму та детального кількісного опису взаємодії сукупності когерентних вихрових структур (КВС) тупикової зони та «активної» частини вхідного потоку ВК є дуже складною як в експериментальній, так і в теоретико-чисельній постановках. Тому була здійснена експериментальна оцінка інтегрального впливу зазначеної взаємодії на кінематику закрученого потоку на виході камери з вхідним тангенціальним соплом розмірами проточної частини $0,041 \times 0,025 \text{ м}^2$, осьовий кут $\alpha = 0^\circ$, а саме — на підставі аналізу картин розподілу домінуючих компонент усередненої швидкості вихідного потоку та відповідних величин інтенсивності пульсацій швидкості. З цією метою результати вимірювань представлено у вигляді графіків профілів безрозмірних величин трансверсальної $U^* = U/W_a$ та осьової $W^* = W/W_a$ усереднених за часом складових швидкостей, де W_a – середня за вихідним перерізом ВК швидкість потоку, а також розподілу відповідних величин відносної інтенсивності пульсацій $\varepsilon_u = \sqrt{u'^2}/U$ та $\varepsilon_w = \sqrt{w'^2}/W$ вздовж вертикального діаметра вихідного перерізу ВК. Інтегральне порівняння величин усереднених трансверсальних складових швидкості в повному діапазоні безрозмірних радіусів $r^* = \frac{r}{r_0} = -0,98 \div 0,9$ ($r_0 = 0,051 \text{ м}$ – внутрішній радіус циліндричної частини ВК) показує, що

за наявності максимальної тупикової області течії при $L^* = 4,4$ відбувається зменшення середньої швидкості на 15% при $Re = 86530$ і на 21% при $Re = 47080$ порівняно з варіантом камери $L^* = 0$. Регулярний характер загального розподілу дослідних точок при обох граничних значеннях відносної глибини тупикової частини камери опосередковано свідчить про хибність традиційних уявлень про так звану «мертву зону», тобто випадковий характер невпорядкованої течії в тупикових областях ВК торцевого типу. Порівнювальна інтегральна оцінка величин усереднених за часом осьових складових швидкості у вихідному перерізі ВК показує наступне. При застосуванні максимальної тупикової області течії ($L^* = 4,4$) відбувається збільшення середньої осьової швидкості на 19,7% при $Re = 86530$ і на 8,5% при $Re = 47080$ порівняно з варіантом камери при $L^* = 0$. Цей факт свідчить про певний перерозподіл кінетичної енергії від трансверсального руху до осьового. Крім того, спостерігається переважання осьової інтенсивності пульсацій швидкості над трансверсальною. Здійснено аналіз такого перерозподілу у двох найбільш характерних зонах в проточній («активній») частині камери: у «пристінній зоні течії», яка обмежена відстанню від стінок циліндричної камери, що відповідає діапазону безрозмірних радіусів $0,8 \leq |r^*| < 1,0$ (за аналогією з теорією турбулентних потоків в трубах, а також на підставі розподілу ізотак осьової швидкості течії [7]); у «приосьовій зоні течії», що обмежена діапазоном $-0,2 \leq r^* \leq 0,2$. Для камер варіантів $L^* = 4,4$ і $L^* = 0$ точкові епюри залежності $\varepsilon_w(r^*)$ відрізняються від

епюр $\varepsilon_u(r^*)$ більшою наповненістю, а також тим, що найбільші радіальні градієнти інтенсивності пульсацій осьової швидкості не обмежені інтервалом $-0,5 \leq r^* \leq 0,5$, а займають значно більш широкий діапазон, границі якого практично збігаються з границями вертикального перерізу камери: $-0,98 < r^* < 0,9$. Числові оцінки ефекту перерозподілу енергії пульсацій використанням параметра $\delta\varepsilon = \frac{\varepsilon_w - \varepsilon_u}{\varepsilon_u} \cdot 100\%$ при переході від варіанту ВК з $L^* = 0$

до варіанту ВК з $L^* = 4,4$ показали наступне. Для варіанта камери з $L^* = 0$ отримано: а) в межах пристінної зони $\delta\varepsilon \approx 43\%$ при $Re = 86530$ і $\delta\varepsilon \approx 254\%$ при $Re = 47080$; б) в приосьовій зоні $\delta\varepsilon \approx 8\%$ при $Re = 86530$ і $\delta\varepsilon \approx 29\%$ при $Re = 47080$. Для варіанта камери з $L^* = 4,4$ маємо: а) в межах пристінної зони $\delta\varepsilon \approx 55\%$ при $Re = 86530$ і $\delta\varepsilon \approx 72\%$ при $Re = 47080$; б) в приосьовій зоні $\delta\varepsilon \approx 9\%$ при $Re = 86530$ і $\delta\varepsilon \approx 24\%$ при $Re = 47080$.

Для порівняльної оцінки інтегрального впливу тупикової частини ВК на усереднену за вихідним перерізом величину інтенсивності пульсацій швидкості можна ввести такі параметри: показник $k_i = \frac{\bar{\varepsilon}_i - \bar{\varepsilon}_{i,o}}{\bar{\varepsilon}_{i,o}} 100\%$; $i = u, w$, де $\bar{\varepsilon}_i$ і $\bar{\varepsilon}_{i,o}$ — усереднені значення інтенсивності трансверсальних та осьових пульсацій при $L^* = 4,4$ і при $L^* = 0$; показники розсіювання величин відносної інтенсивності пульсацій $K_i = \frac{\varepsilon_i^{\max} - \varepsilon_i^{\min}}{\bar{\varepsilon}_i}$ і $K_{i,o} = \frac{\varepsilon_{i,o}^{\max} - \varepsilon_{i,o}^{\min}}{\bar{\varepsilon}_{i,o}}$.

Дається фізична трактування числовим значенням цих параметрів, наведеним в таблиці 1, а також частотним спектрам в характерних точках вихідного перерізу вихрової камери. Вони свідчать про певну закономірність дії когерентних вихрових утворень тупикової частини ВК на вихідні характеристики потоків на виході вихрових камер, що може бути використано як один із засобів керування структурою цих потоків.

Таблиця 1

Параметри керувального впливу КВС на структуру потоку на виході ВК

Re	L^*	$k_u, \%$	$k_w, \%$	K_u	K_w
86530	0	-10	+1,7	1,60	0,77
	4,4			1,82	0,89
47080	0	+16	-0,5	1,94	1,21
	4,4			0,77	0,69

Наступні дослідження передбачають проведення дослідів при $\alpha = \text{var}$, $L^* = \text{var}$, $Re = \text{var}$.

THE INFLUENCE OF THE CONSTRUCTION FEATURES OF THE END-TYPE VORTEX CHAMBER ON THE CHARACTERISTICS OF THE OUTPUT FLOW

Turick Volodymyr, Kochin Viktor, Moroz Volodymyr, Miliukov Dmytro

Abstract. For the first time, the influence of the location of the blind end of the vortex chamber with a cylindrical cross-section relative to the inlet nozzle of a tangential flow part on the structure of the air flow at the exit from the chamber was investigated. The possibility of using an ordered collection of quasi-steady vortex formations in the dead-end zone of the chamber as a control factor of the output flow parameters was

experimentally verified. For this purpose, the kinematic characteristics of the flow were investigated in relation to two extreme versions of the designs: a chamber with an elongated dead-end part and a chamber with an extremely short location of the dead end in the range of Reynolds numbers according to the nozzle parameters $Re \approx 47080-86530$. Statistical processing of time series obtained and analyzed such integral characteristics of the output flow as profiles of time-averaged transverse and axial velocity projections, as well as values of the relative intensity of pulsations of the corresponding velocity components. The frequency spectra are analyzed with respect to the characteristic points of the exit section of the vortex chamber.

Key words: *vortex chamber, thermal anemometer, vortex structure, control, velocity profile, pulsation intensity, frequency spectrum.*

Список використаних джерел

1. Халатов А. А., Авраменко А. А., Шевчук И. В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил: в 4 т. Киев: Ин-т техн. теплофизики НАН Украины, 2000. Т. 3: Закрученные потоки. 474 с.
2. Формирование турбулентности в сдвиговых течениях: монография / Л. Ф. Козлов, А. И. Цыганюк, В. В. Бабенко и др. Киев: Наук. думка, 1985. 284 с.
3. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки: монография; пер. с англ. В. И. Васильева [и др.] под ред. С. Ю. Крашенинникова. Москва: Мир, 1987. 588 с.
4. Идельчик И. Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов: монография. Москва: Машиностроение, 1983. 351 с.
5. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям; под ред. М. О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Машиностроение, 1997. 672 с.
6. Ханжонков В. И., Давыденко Н. И. Сопротивление боковых отверстий концевой участка трубопровода. «Пром. аэродинамика»: сб. стат. ЦАГИ им. проф. Н. Е. Жуковского: Воздухопроводы. Москва: Гос. изд. оборон. пром., 1959. №15. С. 38–46.
7. Бабенко В. В., Турик В. Н. Макет вихревых структур при течении потока в вихревой камере. Прикладна гідромеханіка. 2008. Т. 10 (82), № 3. С. 3–19.