

Abstract

The methods of dynamic testing of cars in laboratories for optimization research of cars in special controlled conditions at rolling stands were considered. The problems, which are solved with the help of rolling stands, include the fundamental research of the creep theory in the "wheel-rail" system; studying of derailment; modeling of curve passing; decreasing of noise and vibration in the "wheel-rail" system; optimization of braking and acceleration. In order to get reliable results, the rolling stock should be in operative condition.

Testing stands RVTU are used to find the actual critical speed, including the roughness of the track. The appropriateness of rolling stand construction is proved, as it allows to carry out strength, static, dynamic, vibratory, fatigue and climate tests and to check the calculating methods of mathematical modeling of cars behaviour. The rolling stands will allow increasing the reliability of results and creating the competitive products of rail transport

Keywords: rolling stand, critical speed, diagnosis, operative condition, non-serviceable condition, car, diagnosis

УДК 532.527:533.6.08

О ДИНАМИЧЕСКОМ МЕТОДЕ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ ТЕЧЕНИЯ В ВИХРЕВОЙ КАМЕРЕ

В. Н. Турик

Кандидат технических наук, доцент*

Контактный тел.: (044) 454-96-14

E-mail: turick46@gmail.com

В. В. Бабенко

Доктор технических наук

Отдел информационных систем в гидромеханике и экологии

Институт гидромеханики НАН Украины

ул. Желябова, 8/4, к.603, г. Киев, Украина, 03056

Контактный тел.: (044) 371-65-58

E-mail: vvb38@mail.ru

Д. Е. Милюков

Аспирант*

Контактный тел.: 096-427-16-26

E-mail: dm_mil@ukr.net

*Кафедра прикладной гидроаэромеханики и механотроники

Механико-машиностроительный институт

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

пр. Победы, 37, корпус 1, г. Киев, Украина, 03056

Наведено результати експериментальних досліджень пневмометричним методом впливу турбулентного затопленого струменя, що ежектується через торцеве сопло, на структуру течії в тупиковій частині циліндричної вихрової камери. Візуалізаційні картини та профілі швидкостей виявили особливості взаємодії торцевого струменя з енергонесущим вихровим утворенням, що визначає загальну структуру течії в тупиковій та проточній частинах вихрової камери

Ключові слова: когерентні вихрові структури, вихрова камера, керуючий струмінь, пара торнадоподібних вихорів

Приведены результаты экспериментальных исследований пневмометрическим методом воздействия турбулентной затопленной струей, которая эжектируется через торцевое сопло, на структуру течения в тупиковой части цилиндрической вихровой камеры. Визуализационные картины и профили выявили особенности взаимодействия торцевой струи с энергонесущим вихревым образованием, определяющим общую структуру течения в тупиковой и проточной частях вихровой камеры

Ключевые слова: когерентные вихровые структуры, вихровая камера, управляющая струя, пара торнадоподобных вихрей

1. Введение

На основании многочисленных экспериментальных исследований структуры течения в вихровой камере (ВК), результаты которых систематизированы в [1-8], сформировались основные представления о характерных видах когерентных вихревых структур

(КВС) в полости ВК. Наибольшее внимание исследователей уделялось проточным («активным») участкам камер, однако, согласно работам [5-9], основы формирования общей структуры потока в ВК с относительно протяжённой тупиковой частью в значительной мере закладываются именно в тупиковой («пассивной») области. Авторами данных работ были обнаружены и

проанализированы основные виды КВС в этой зоне, определены расположение, порядок и некоторые особенности их взаимодействия. Показано, что определяющую роль в формировании структуры течения, а значит условий переноса массы, импульса и теплоты в ВК, имеет наиболее энергонесущее вихревое образование спиралевидной формы типа «усы», распространяющееся в пристеночной области камеры от входного сопла в проточную и тупиковую части и состоящее, как минимум, из пары крупных продольных вихревых жгутов. Управляющее воздействие, оказываемое на эту КВС в тупиковой части ВК, позволит коренным образом повлиять на общую структуру течения в ВК и, соответственно, на интегральные характеристики ВК в целом [10].

В соответствии с принципом взаимной восприимчивости вихревых структур [9, 11], управляющее воздействие должно осуществляться одной или несколькими КВС, имеющими соразмерные с управляемой КВС параметры (масштаб, интенсивность, фазность, частоту и т.д.). Создание таких КВС в полной мере пока затруднено ввиду ограниченного представления о природе формирования и тонкой структуре КВС «усы» [8]. На данном этапе исследований возможно применение принципа восприимчивости на макроуровне (более полную реализацию концепции тонкого управления вихревыми структурами предполагается осуществлять по мере углубления их изучения). Такой подход может быть осуществлён с помощью динамического струйного метода управления КВС в ВК [10, 12]. Исходя из этого, в данной работе приводятся результаты исследований целенаправленного воздействия торцевой свободно всасываемой турбулентной струи на энергонесущую вихревую структуру «усы» в ВК.

2. Постановка задач исследования

Настоящая работа продолжает цикл экспериментальных исследований структуры течения в ВК, начатых еще в 1997 г. В.Н. Туриком, В.В. Бабенко и др. [5-9]. Данный этап исследований предполагает решение следующих задач. Во-первых, следует осуществить конструктивную и аэродинамическую организацию средств струйного управления процессом со стороны торца ВК. Во-вторых, необходимо детальное изучение макромасштабного механизма взаимодействия торцевой турбулентной струи с энергонесущей КВС «усы». Представляется логичной экспериментальная проверка двух предельных случаев: при направлении управляющей струи спутно, а также встречно по отношению к тангенциальному движению «усов». Это поможет определить выбор пути наиболее рациональных воздействий для управления процессами переноса (интенсификации, либо замедления) в тупиковой части, а значит и в целом в ВК. Для исследования струйного воздействия на структуру потока планируется проведение экспериментов в тупиковой части камеры с относительно глубоким расположением торца (4,4 калибра цилиндрической части ВК) и одиночным входным соплом постоянного проходного сечения и постоянным углом тангенциальности γ , но при различных углах его поворота α относительно

оси ВК. Подача рабочей среды через управляющее торцевое сопло осуществляется самовсасыванием. В качестве рабочей среды используется воздух.

3. Экспериментальная установка и методика проведения опытов

Экспериментальные исследования проводились на аэродинамическом стенде с вихревой камерой, подробно описанными в [5, 6]. Рабочий участок стенда (рис. 1) состоял из цилиндрической прозрачной трубы, изготовленной из органического стекла с полированными стенками. Внутренний диаметр трубы составил $d_0 = 2r_0 = 0,102\text{ м}$, общая длина - $L = 0,635\text{ м}$. С обеих сторон труба заканчивалась фланцами, благодаря чему имелась возможность стыковки с другими элементами стенда или приспособлениями для измерительных инструментов.

Длина тупиковой зоны составляла $0,446\text{ м}$ (расстояние от торца до середины основного сопла). Проходное сечение основного сопла имело прямоугольную форму с размерами $0,02 \times 0,04\text{ м}^2$ (большая сторона - вдоль оси ВК) и скруглениями углов радиусом $5,5 \cdot 10^{-3}\text{ м}$. Угол тангенциальности сопла составлял $\gamma = 85^\circ$, а углы его поворота относительно оси ВК варьировались в диапазоне $\alpha = -20^\circ \dots +20^\circ$. При $\alpha = 0^\circ$ входной поток направлялся практически по касательной к внутренней стенке камеры и перпендикулярно оси ВК; при $\alpha < 0^\circ$ входной поток направлялся в сторону тупиковой зоны, а при $\alpha > 0^\circ$ - в сторону проточной зоны. Диапазон чисел Рейнольдса, рассчитываемых по средней скорости течения в проточной части ВК, составлял $Re = 22050 \dots 32500$ и варьировался за счёт изменения общего расхода воздуха через рабочий участок посредством установки в напорной измерительной части аэродинамического стенда сменных вставок с разными диаметрами проходных отверстий.

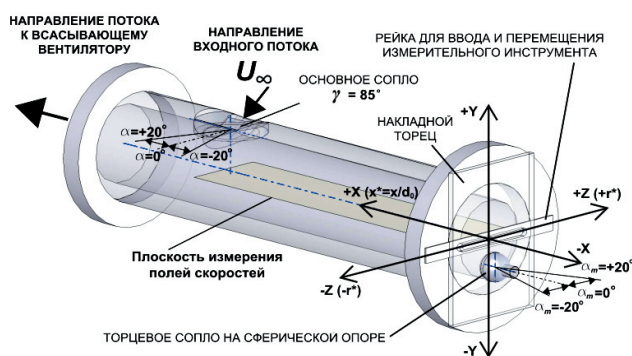


Рис. 1. Модель рабочего участка вихревой камеры

Для реализации струйного метода управления был изготовлен накладной торец специальной конструкции, содержащий торцевое сопло и передвижной механизм для ввода державки измерительного инструмента. Торцевое сопло представляло собой конический сходящийся насадок (конусность $\approx 1^\circ$) длиной $l_T = 0,051\text{ м}$ и диаметром выходного отверстия $d_T = 0,014\text{ м}$. Такой диаметр выходного отверстия сопла был принят исходя из следующих соображений:

величины произведений площади поперечного сечения сопла и средней скорости истечения из него достаточно близки к величинам произведений площади поперечного сечения энергонесущей системы вихревых жгутов и средней скорости перемещения рабочей среды вдоль их оси. Изменение положения торцевого сопла в пространстве выполнялось за счет установки его на сферической опоре (сопло вмонтировано в сферу), центр которой был смещен от оси камеры вниз на 0,033м. Такое смещение обусловлено конструктивными особенностями накладного торца, позволяющими отклонять торцевое сопло от его исходного положения (когда ось сопла параллельна оси ВК) в любую сторону в пределах углов $\alpha_T = \pm 20^\circ$, а также соображениями наиболее результативного взаимодействия управляющей струи и управляемой КВС. В представленном исследовании торцевое сопло отклонялось от своего исходного положения в плоскости, параллельной горизонтальной плоскости XOZ, причем угол $\alpha_T < 0$ означал отклонение сопла в сторону отрицательной полуоси «-Z», а $\alpha_T > 0$ – в сторону положительной полуоси «+Z» (см. рис. 1). Торцевому соплу предшествовал предвключённый патрубок длиной $\approx 15d_T$ (на рис. 1 условно не показан), предназначенный для стабилизации эпюры скорости всасываемой струи. В патрубке устанавливалась миниатюрная напорная трубка, соединенная с дифференциальным манометром для измерения расхода воздуха через торцевое сопло.

Методика проведения экспериментов заключалась в следующем. Сначала проводилась серия опытов для определения расходных характеристик рабочего участка стенда. Затем была проведена визуализация картин течения. В качестве контрастного вещества использовались монодисперсный порошок (пудра), а также мелкая и лёгкая тырса (размер частиц не превышал $0,5 \cdot 10^{-3}$ м). Локализация и макроструктура вихревых зон взаимодействия управляющей струи с энергонесущей КВС регистрировались цифровой камерой в увеличенном виде и фиксировались с помощью высокоскоростных фотоаппаратов. После анализа картин визуализации была выбрана плоскость измерения полей скоростей – горизонтальная плоскость XOZ (см. рис. 1), совпадающая с центральным горизонтальным сечением ВК. В качестве измерительного инструмента применялся Т-образный экранированный насадок скорости (ТЭНС), который использовался в работе [6]. ТЭНС вводился в полость ВК со стороны глухого торца на специальной, достаточно жёсткой державке. Измерения с помощью ТЭНС проводились дискретно (с шагом $(10...20) \cdot 10^{-3}$ по оси X и $(3...5) \cdot 10^{-3}$ м по оси Z) в сечении $0,102 \times 0,455 \text{ м}^2$, что обеспечивалось координатным устройством, установленным за торцевой частью камеры. Величины осевых и трансверсальных скоростей рассчитывались по измеренным значениям перепадов давления на ТЭНС и градуировочным зависимостям.

4. Обсуждение результатов

Поскольку реализация предложенного метода воздействия на структуру течения в совокупности представляет собой сложную систему с разветвлённым

входом, то для дальнейшего проведения исследования целесообразно произвести оценку вклада расхода эжектируемого воздуха через торцевое сопло $Q_{т.с}$ в общий расход через камеру Q_Σ при различной ориентации управляющей струи по отношению к энергонесущей КВС «усы». Полученные зависимости $Q_{т.с} = f(Q_\Sigma)$ на рис. 2 показывают, что при $Q_\Sigma \geq 0,48 \text{ м}^3/\text{с}$ вклад расхода $Q_{т.с}$ остается неизменным (практически линейная зависимость) в исследуемом диапазоне изменения чисел Рейнольдса практически независимо от ориентации управляющей струи по отношению к КВС «усы». Это – важный результат, косвенно свидетельствующий о ничтожно малой зависимости гидравлического сопротивления данной зоны смещения, а значит и всего тракта ВК, от ориентации струйных управляющих воздействий относительно энергонесущих составляющих «тупикового» течения при $\frac{Q_{т.с}}{Q_\Sigma} \approx 0,0028 \div 0,0031$ (и подчёркивающий правильность принятой концепции малозатратного управления структурой потока в ВК). Исходя из полученных данных, дальнейшие измерения полей скоростей проводились при трех значениях общего расхода: $Q_\Sigma^{\min} = 0,517 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$; $Q_\Sigma^{\text{ср}} = 0,685 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$; $Q_\Sigma^{\max} = 0,766 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$.

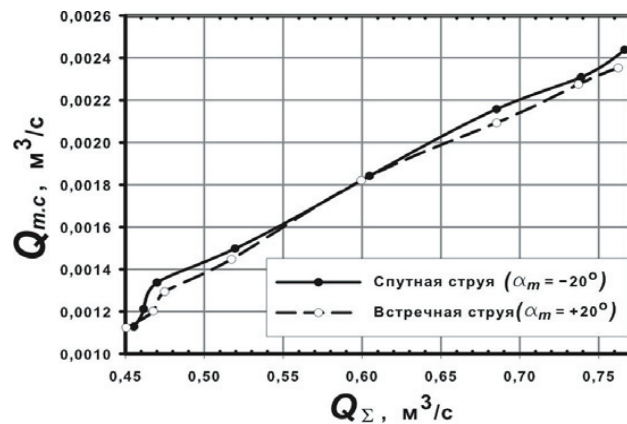


Рис. 2. Соотношение расходов через торцевое сопло и общего расхода через ВК

На рис. 3 и 4 представлены поля осевой W^* и трансверсальной U^* составляющих скорости потока в тупиковой части ВК для случаев $\alpha = 0^\circ$, поскольку другие положения угла α основного сопла (на основании анализа картин течения серии опытов) приводят лишь к смещению вихревого образования «усы» вдоль оси ВК. Все поля скоростей построены в виде контурных графиков в безразмерных (по отношению к среднерасходной скорости потока W_a в проточной части ВК) величинах: $W^* = W / W_a$ и $U^* = U / W_a$. Для осевых скоростей $W^* = f(r^*, x^*)$ (рис. 3) отрицательные изотахи (темные участки графиков) соответствуют течению воздуха от торца в сторону проточной части ВК, а положительные (светлые участки) – наоборот, указывают на движение воздуха в обратном направлении («торцевой эффект» [6]).

Для трансверсальных скоростей $U^* = f(r^*, x^*)$ на рис. 4 распределение знаков трактуется следующим образом: отрицательные изотахи (темные участки графиков) указывают на перемещение воздуха на нас,

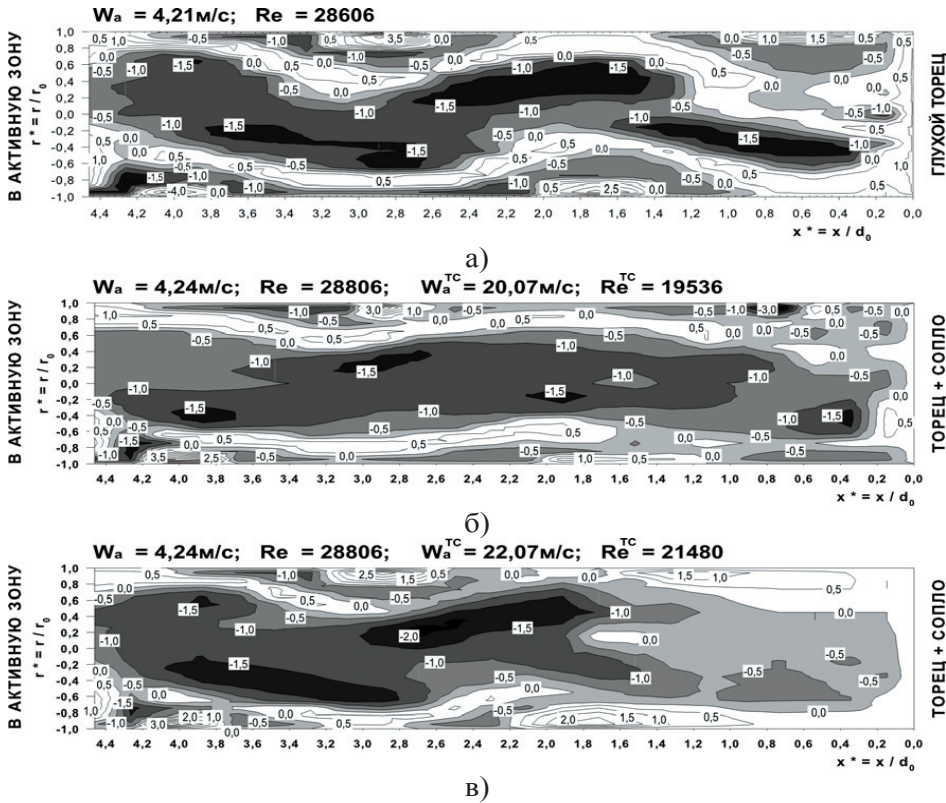


Рис. 3. Поля осевых скоростей $W^* = f(r^*, x^*)$: а) при установке глухого торца; б), в) при торцевом вдуве струи: б) $\alpha_T = -20^\circ$ (спутное направление торцевой струи); в) $\alpha_T = +20^\circ$ (встречное направление торцевой струи)

положительные (светлые участки) – на движение от нас, а нейтральная изотакса со значением 0,0 иллюстрирует ось вращения масс рабочей среды в полости ВК.

На всех трех полях осевых скоростей (рис. 3) наблюдается наличие мандрирующего центрального квазитвердотельного вихря (ЦКТВ), который является продуктом взаимодействия вихревых структур в туиковой части ВК [6, 8] и направлен в сторону активной ее части. В случае глухого торца (рис. 3,а) ЦКТВ имеет наиболее четко выраженную изогнутую форму, причем центрами «кривизны» такой формы являются участки прохождения вихревого образования «усы» по периферии камеры. Отметим, что в этом случае картина течения в осевом направлении характеризуется приблизительно равномерной

закруткой потока по всей длине ВК (рис. 4,а).

При спутном (относительно тангенциального направления распространения КВС «усы») вводе в туиковую зону управляющей струи через сопло в нижней части глухого торца характер распределений скоростей W^* и U^* вдоль продольной оси ВК существенно меняется по сравнению с картиной течения в ВК с глухим торцом. В данном случае торцевая струя при входе в камеру, обладая большей средней скоростью истечения, чем вращающийся поток на периферии камеры и в вихревом образовании Бёдевадта [8, 13], проходит до правой (на рис. 3,б - верхней) стенки, где взаимодействует с КВС «усы». Расположение торцевого сопла в нижней части торца вблизи цилиндрической стенки обуславливает прилипание струи к стенке под сум-

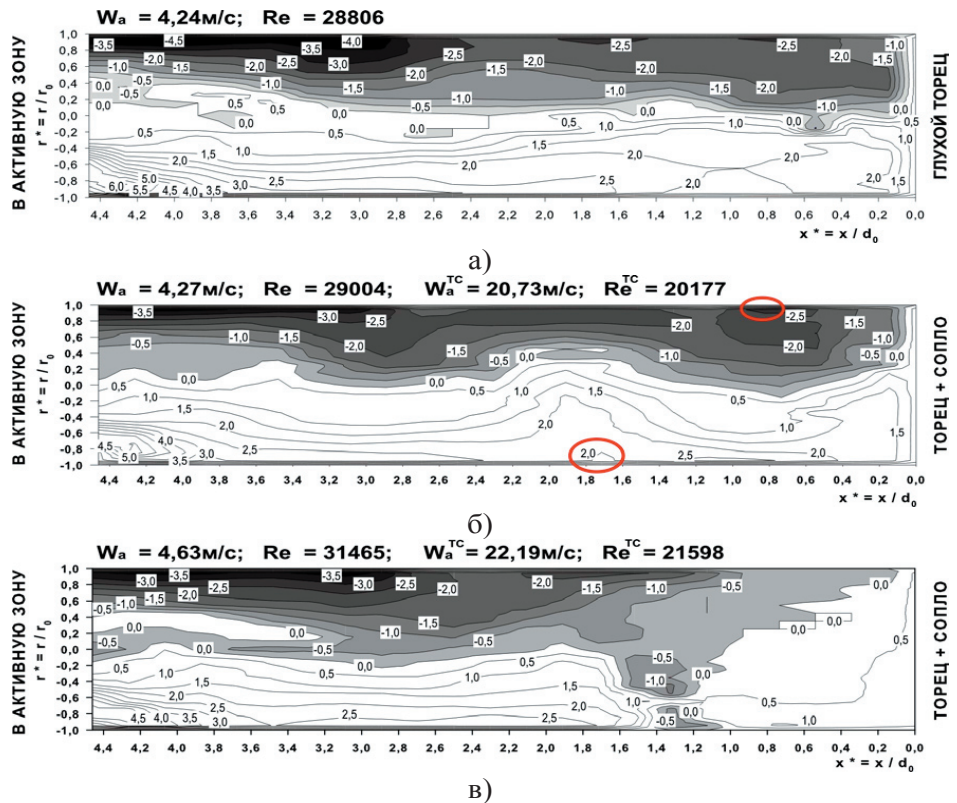


Рис. 4. Поля трансверсальных скоростей $U^* = f(r^*, x^*)$: а) при установке глухого торца; б), в) приторцевом вдуве струи: б) $\alpha_T = -20^\circ$ (спутное направление торцевой струи); в) $\alpha_T = +20^\circ$ (встречное направление торцевой струи)

марным действием центробежной силы и эффекта А. Коанда (который автор [12] также относит к динамическим методам воздействия на КВС). Это способствует тому, что в свободно всасываемой затопленной турбулентной струе формируется профиль скорости, близкий к профилю полуограниченной турбулентной струи [14]. При таком взаимодействии возникает спутное вращательное движение потоков вблизи стенки камеры, подпитываемое с одной стороны (левой) КВС «усы», а с другой (правой) – торцевой струей. Вращение потоков визуально приводит к образованию вихревого кольца, имеющего тенденцию к прецессии вдоль оси камеры (рис. 5,а-в). Здесь необходимо подчеркнуть, что по сравнению с ВК без управляющих воздействий при использовании спутной торцевой струи происходит выравнивание оси ЦКТВ на картине распределения осевых скоростей (рис. 3,б) и искривление оси ЦКТВ на картине распределения трансверсальных скоростей (рис. 4,б). Выравнивание происходит за счет подпитки энергии КВС «усы» при ее перемещении к торцу энергией торцевой струи. Без такого управляющего воздействия, т.е. в отсутствие подпитывающего потока (рис. 3,а), вследствие трения о стенку и смежные КВС в полости ВК структура «усы», подходя к торцу, теряет свою кинетическую энергию. Искривление оси ЦКТВ на картине распределения трансверсальных скоростей происходит по той же причине – вследствие подпитки момента количества движения КВС «усы» за счёт спутно направленной торцевой струи. Образованное в результате такого взаимодействия струи и КВС «усы» вихревое кольцо располагается на расстоянии $\approx 1,5d_0$ от торца в плоскости, расположенной под углом к оси камеры (рис. 5,в). Следует также указать, что во время проведения экспериментов угол α_B варьировался, что позволило заметить изменение угла наклона вихревого кольца, причем при изменении угла в диапазоне $-20^\circ \rightarrow \alpha_B \rightarrow 0^\circ$ вихревое кольцо стремилось занять плоскость вращения, перпендикулярную оси ВК, но при этом увеличивалось в ширину.

На графике распределения трансверсальной компоненты скорости для такого случая взаимодействия (рис. 4,б) можно увидеть локальные увеличения скорости: на левой стенке при $x^*=1,716$ (рис. 4,б – овалы контур на нижней части графика) и на правой стенке камеры при $x^*=0,735$ (рис. 4,б – овалы контур вверху графика). Эти локальные увеличения скорости являются местами прохождения кольца и одновременно центрами кривизны оси закручивания ЦКТВ. Таким образом, наличие вихревого кольца в структуре течения в ВК оказывает влияние на равномерность закрутки потока по длине камеры (искривление оси закручивания ЦКТВ) и в то же время способствует более равномерному перемещению масс рабочей среды в осевом направлении по всей длине тупиковой части ВК. Указанную особенность структуры течения необходимо учитывать при создании методов расчета режимов работы камеры при требовании увеличенного времени пребывания рабочей среды в полости камеры и равномерного ее перемешивания.

Иногда для обеспечения определённых режимов работы систем возникает необходимость замедлить процессы перемешивания масс рабочей среды для частичной или полной блокировки теплообмена во всём объёме ВК [2]. Учитывая, что наиболее энергонесущей структурой в потоке является КВС «усы», устремляющаяся к торцу с наибольшей скоростью (рис. 3), где течение трансформируется в подвложенный ЦКТВ с обратным осевым направлением, правомерно предположение, что встречная струя от торцевого сопла может в той или иной степени оказывать блокирующее влияние как на КВС «усы», так и на ЦКТВ.

Теоретические основы такого рода течений изучены недостаточно, хотя и представляют практический интерес для топочной, газотурбинной и других видов техники, в частности, в связи с проблемой струйной стабилизации пламени в быстром потоке [14-15]. Сложность задачи состоит в том, что

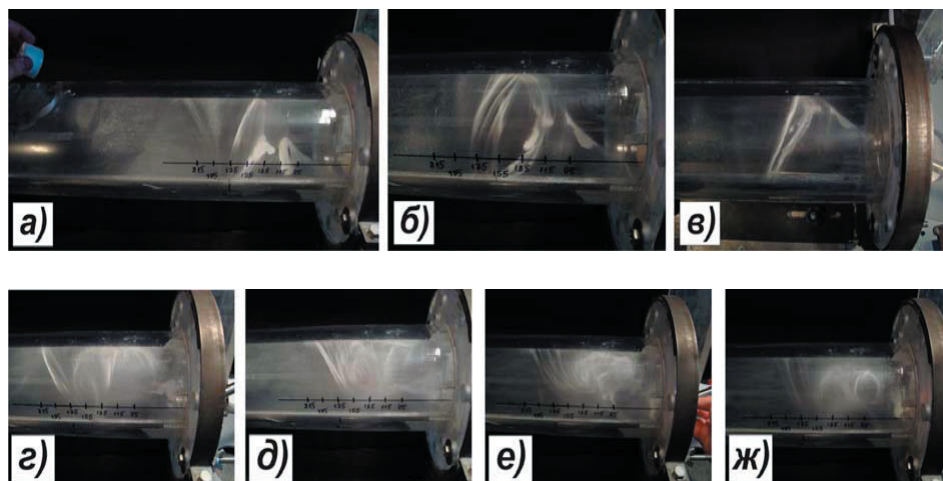


Рис. 5. Структура взаимодействия КВС «усы» с торцевой струей: а, б, в – формирование спутного вращения потоков при $\alpha_T = -20^\circ$ (а – полная картина течения в торцевой части ВК, б – область формирования вихревого кольца, увеличено; в – вихревое кольцо, вид сверху); г, д, е, ж – формирование встречного взаимодействия потоков при $\alpha_T = +20^\circ$ (формирование пары торнадоподобных вихрей на передней стенке камеры)

на процессы взаимодействия изучаемых сдвиговых потоков и генерируемых при этом вторичных вихревых образований в условиях близости цилиндрической стенки накладывается влияние вязкой неустойчивости пристеночных течений в полях центробежных сил. В рамках данной работы остановимся на описании особенностей макроструктуры формирования вихревого взаимодействия. Как видно на фотографиях структуры течения, при встречном направлении торцевой струи и энергонесущей КВС «усы» (рис. 5,г-ж) в результате их взаимодействия на передней (левой)

стенке образуется пара торнадоподобных вихрей. На рис. 5,г-ж представлены фотографии визуализации течения в разных экспериментах, проведенных при одних и тех же условиях для проверки повторяемости явления. Неоднозначность положения пары вихрей согласно визуализационным картинкам указывает на то, что пара образовавшихся вихрей не имеет строго определенного положения, осциллируя на стенке вдоль оси ВК. Результаты измерения осевой компоненты скорости с помощью ТЭНС (рис. 3,в) в зоне образования пары вихрей иллюстрируют доминирование КВС «усы», поскольку перемещение рабочей среды здесь направлено к торцу (светлый участок графика). В свою очередь, измерения с помощью ТЭНС трансверсальной компоненты скорости (рис. 4,в) в этой зоне указывает на то, что вращающийся по периферии ВК поток рабочей среды препятствует распространению этой пары вихрей к центру камеры (при $x^* \approx 1,324$), отсекая ее при $r^* = -0,65$.

Следует отметить, что общая картина распределения осевой компоненты скорости при воздействии на КВС «усы» встречной торцевой струей имеет некоторые свои особенности: формирование пары торнадоподобных вихрей происходит на передней (левой) стенке камеры при $x^* \approx 1,127 \dots 1,716$; структура течения в осевом направлении за пределами зоны существования пары вихрей (при $x^* > 1,716$) остается практически неизменной по сравнению с камерой, не имеющей управляющего торцевого сопла (рис.3,а); в околоторцевой зоне (при $x^* < 1,127$), отсеченной сформированной парой вихрей, скорость перемещения ЦКТВ в осевом направлении значительно уменьшается.

Поле трансверсальных скоростей (рис. 4,в) имеет также свои особенности: на формирование пары вихрей указывает наличие обратного течения на передней (на рис. 4,в нижней) стенке при $x^* \approx 1,324$ (темный участок графика); структура закрученного потока в трансверсальном направлении остается такой же, как и в камере с глухим торцем; в околоторцевой зоне (при $x^* < 1,127$) ось закручивания потока смещается к правой (на рис. 4, в верхней) стенке – закрученный поток становится неоднородным по длине камеры.

На основе анализа профилей осевой и трансверсальной компонент скорости вращающегося потока в торцевой части ВК, а также картин визуализации структуры взаимодействия потоков, можно сделать вывод, что встречно направленная торцевая струя способна оказывать влияние на структуру потока в ВК, в частности, создавать околоторцевую «мертвую» зону, в которой распределение компонент скорости кардинально меняются: в осевом направлении существенно замедляется распространение рабочей среды в составе ЦКТВ, а в трансверсальном – ось вращения смещается в сторону правой (на рис. 4,в - верхней) стенки. Такая особенность структуры течения меняет условия формирования потока на торце ВК (отсутствует течение по Бёдевадту [13] в классическом представлении), однако за пределами «мертвой» зоны сохраняется общая структура течения, аналогичная структуре течения без управляющих воздействий, при этом изменяется лишь скорость распространения энергонесущей КВС «усы».

Детальное определение параметров результирующего течения при условии направления торцевой струи навстречу КВС «усы» затруднено из-за неустойчивости взаимодействия этих структур. Подробное изучение такого взаимодействия составляет предмет отдельного исследования. В рамках настоящего исследования приведем лишь приблизительную схему образования пары торнадоподобных вихрей (рис. 6) и ее краткое описание.

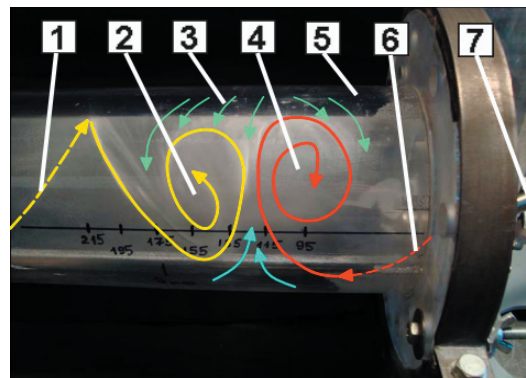


Рис. 6. Схема формирования пары торнадоподобных вихрей: 1 – вихревое образование «усы»; 2 – первичный торнадоподобный вихрь; 3 – набегающий периферийный поток; 4 – вторичный торнадоподобный вихрь; 5 – корпус камеры; 6 – торцевое струйное течение; 7 – торцевое сопло со стабилизирующим патрубком

Исходя из картины распределения трансверсальной компоненты скорости при встречном течении торцевого струйного потока и вихревого образования «усы» (рис. 4,в) в приторцевой области при $0 < x^* < 1,2$ на передней (на графике – нижней) стенке преобладает одностороннее вращение периферийного потока. Для построения схемы формирования пары образовавшихся торнадоподобных вихрей в этой зоне (рис. 6) была использована фотография на рис. 5,г. На схеме видно, как по задней стенке, перемещаясь в виде спирали, вихревое образование «усы» 1 в верхней части камеры переходит на переднюю стенку и вступает во взаимодействие с потоком торцевой струи 6. Так как структура «усы» 1, перемещаясь в сносящем на передней стенке потоке 3, стремится двигаться к торцу в виде спирали, то ее основная часть продолжает перемещаться по периферии корпуса камеры 5, переходя на заднюю стенку, а ее незначительная часть, взаимодействующая с торцевым струйным течением 4, остается на передней стенке. При взаимодействии двух разнонаправленных потоков 1 и 6 в области максимального сдвига на границе их соприкосновения возникает закручивающий момент, образуя первичное торнадоподобное вихревое движение 2, ось которого опирается на переднюю стенку камеры. В результате дальнейшего раскручивания образовавшегося первичного торнадоподобного вихря 2 ускоряется движение торцевой струи 6, которая, проходя зону первичного вихря 2, начинает взаимодействовать со сносящим на передней стенке периферийным потоком 3 в камере. В свою очередь, сносящий периферийный поток 3 способствует ускорению первичного вихря 2 и, взаимодействуя со струйным течением 6, образует вторич-

ный торнадоподобный вихрь 4. Поскольку раскрутка первичного вихря 2 со временем увеличивается, то его ось стремится к ЦКТВ, однако сносящий поток 3 периодически нарушает такое распространение, чем вызывает нестабильное положение пары вихрей на передней стенке.

5. Выводы

1. Предложен динамический метод управления структурой течения в ВК с тангенциальным вводом основного потока, который заключается в воздействии на отдельные КВС торцевой затопленной струей, эжектируемой в полость камеры.

2. Установлено, что такая струя способна оказывать существенное влияние на структуру течения в полости ВК, в частности, на наиболее энергонесущие вихревые образования «усы» и «центральный квазитвердотельный вихрь».

3. Показано, что при спутном с КВС «усы» направлении управляющей струи образуется устойчивое осциллирующее вдоль оси ВК «кольцевое» вращение потока на внутренней стенке камеры, при встречном направлении торцевой струи наблюдается образование пары торнадоподобных вихрей на стенке камеры.

4. Разъясняется схема образования пары торнадоподобных вихрей на стенке камеры, формирующихся в результате встречного воздействия торцевой затопленной струи на энергонесущую КВС «усы».

5. Выявленные особенности макроструктуры тупикового течения в ВК при струйных воздействиях на энергонесущее вихревое образование четко обозначили зоны, подлежащие более детальному исследованию в будущем, в частности, изучению пульсационных характеристик течения, которые отражают свойства принятого метода управления потоками и, следовательно, определяют эффективность процессов массо- и теплопереноса в вихревых камерах различного назначения.

Литература

1. Кутателадзе, С. С. Аэродинамика и тепломассообмен в ограниченных вихревых потоках [Текст] / С. С. Кутателадзе, Э. П. Волчков, В. И. Терехов. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 283 с.
2. Халатов, А. А. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил [Текст]. Т. 3. Закрученные потоки / А. А. Халатов, А. А. Авраменко, И. В. Шевчук. – К. : Институт теплофизики НАН Украины, 2000. – 474 с.
3. Гупта, А. Закрученные потоки [Текст]: пер. с англ. / А. Гупта, Д. Лилли, Н. Сайред. – М. : Мир, 1987. – 588 с.
4. Гольдштик, М. А. Вихревые потоки [Текст] / М. А. Гольдштик. – Новосибирск: Наука, Сиб. Отделение, 1981. – 366 с.
5. Турик, В. Н. Обобщенные характеристики тангенциальных течений в тупиковой части вихревой камеры [Текст] / В. Н. Турик, Р. А. Макаренко // Вестник НТУ Украины КПИ: Машиностроение. – 2000. – №38. – С. 38–44.
6. Макаренко, Р. А. Кинематика течения в тупиковой части вихревой камеры [Текст] / Р. А. Макаренко, В. Н. Турик // Прикладная гидромеханика. – 2001. – 3(75), №1. – С. 46–51.
7. Бабенко, В. В. Вихори Гьортлера над увігнутою поверхнею вхідної частини вихревої камери [Текст] / В. В. Бабенко, А. В. Воскобийник, В. А. Воскобийник, В. М. Турик // Прикладна гідромеханіка. – 2003. - №2(28). – С. 105–110.
8. Бабенко, В. В. Макет вихревых структур в вихревой камере [Текст] / В. В. Бабенко, В. Н. Турик // Прикладная гидромеханика. – 2008. – 10(82), №3. – С. 3–19.
9. Турик, В. Н. О взаимной восприимчивости вихревых структур и управления ими [Текст] / В. Н. Турик // Вестник НТУ Украины КПИ: Машиностроение. – 2009. – №56. – С. 286–299.
10. Турик, В. Н. К выбору способа управления структурой течения в тупиковой части вихревой камеры [Текст] / В. Н. Турик, Д. Е. Милоков // Вестник НТУ Украины КПИ: Машиностроение. – 2011. – №63. – С. 70–73.
11. Бабенко, В. В. Взаимодействие пограничного слоя с трехмерными возмущениями [Текст] / В. В. Бабенко, Аббас Фадиль Махмуд, Н.А.Гнитецкий // Прикладная гидромеханика. – 2011. – 13(85), №2. – С. 3–21.
12. Babenko, V.V. Control of the coherent vortical structures of a boundary layer // Aerodynamic Drag Reduction Technologies, Proc. of the CEAS / DragNet European Drag Reduction Conf., Potsdam, Germany, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2001: 341–350.
13. Boedewadt, U. T. Die Drehstromung ueber festen Grund // Z. Angew. Math. Mech. – 1940. - 20. – P. 241–253.
14. Вулис, Л. А. Теория струй вязкой жидкости [Текст] / Л. А. Вулис, В. П. Кашкаров. – М. : Наука, 1965. – 432 с.
15. Леонтьева, Т. П. Исследование аэродинамики плоской струи во встречном однородном потоке [Текст] / Т. П. Леонтьева, Б. П. Устименко // Труды Института энергетики АН Каз. ССР. – Т. 3. – 1961.

Abstract

The work is dedicated to choice of the way of heat and mass transfer control in vortex chambers according to different appointment. The version of dynamic method of flow structure control in vortex chamber by means of influence on powerful coherent vortex formation in chamber dead-end region is proposed. The knowledge lack about initiation and evolution of this discovered recently coherent vortical phenomenon caused organization of experimental research by a pneumometric method for determination of influence of the turbulent flooded stream, injecting through a dead-end nozzle, on current structure in dead-end part of cylindrical vortex chamber. The visualization data of flow structure were obtained by means of cameras and digital video camera. On the basis of the visualization pictures analysis and constructed speed field

ds the interaction features of the butt-end stream with the most power sated vortex formation defining the general structure of the current in dead-end and flowing (active) parts of the vortex chamber are shown. It is shown that conjunction by directions of the control streaming flow and the powerful coherent vortex gives steady oscillated circular rotation of the flow on inside wall along the chamber axis. Opposite direction of the dead-end control streaming flow leads to formation of quasi-tornado vortex pair on chamber wall. Results of the investigation are of great interest for designers of the vortex chambers in power, metallurgical, chemistry engineering, aircraft industry etc

Keywords: *experimental research, heat and mass transfer control, coherent vortical structures, vortex chamber, control streaming flow, quasi-tornado vortex pair*

На основі уточнених рівнянь [2] розглядаються поперечні переміщення, що виникають у напівнескінченному стержні поблизу фронту нестационарної позаддовжньої хвилі під дією раптового позаддовжнього зусилля. Побудовані графіки розподілення поперечного переміщення по стержню. На відміну від класичної картини ступінчатої зміни поперечного перерізу стержня під дією раптового навантаження, отримана картина плавної зміни розмірів перерізу

Ключові слова: асимптотико-груповий, поперечні переміщення, позаддовжнє зусилля, позаддовжня хвиля

На основе уточненных уравнений [2] рассматриваются поперечные перемещения, возникающие в полубесконечном стержне вблизи фронта нестационарной продольной волны под действием внезапного продольного усилия. Построены графики распределения поперечного перемещения по стержню. В отличие от классической картины ступенчатого изменения поперечного сечения стержня под действием внезапной нагрузки, получена картина плавного изменения размеров поперечного сечения.

Ключевые слова: асимптотико-групповой, поперечные перемещения, продольное усилие, продольная волна

УДК 539.3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В СТЕРЖНЕ ПРИ ВНЕЗАПНОЙ ПРОДОЛЬНОЙ НАГРУЗКЕ

А. Д. Шамровский

Доктор технических наук, профессор
Кафедра программного обеспечения
автоматизированных систем*

Л. Н. Егармина

Старший преподаватель
Кафедра высшей и прикладной математики*
E-mail: neverojatnonofakt@rambler.ru

*Запорожская государственная инженерная академия
пр. Ленина, 226, г. Запорожье, Украина, 69006

1. Введение

Ранее в работах [1,2] было показано, как с помощью метода асимптотико-группового анализа получать динамические уравнения деформации стержня из трехмерных динамических уравнений теории упругости. В результате данных исследований получены и решены новые уточненные динамические уравнения продольной деформации стержня [2]. В данной работе, рассмотрен важный эффект возникающий во время распространения продольной волны, однако не учитываемый в классическом случае – поперечные перемещения.

Описаны решения для случая поперечного перемещения W . Приведены уточненные графики распределения W в стержне.

2. Уточненные динамические уравнения продольной деформации стержня

В соответствии с [2], для случая отсутствия нагрузок на боковых поверхностях стержня, уточненные динамические уравнения продольной деформации стержня принимают вид:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + c \left(\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial x} \right) - \frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} = 0 \quad (1)$$

$$V + c \frac{\partial u}{\partial x} + cW + \frac{1}{8} \left(\frac{h_2}{h_3} \right)^2 \frac{\partial^2 V}{\partial \tau^2} = 0$$

$$W + c \frac{\partial u}{\partial x} + cV + \frac{1}{8} \frac{\partial^2 W}{\partial \tau^2} = 0,$$