

УДК 536.46:532.517.4

С.И. Исатаев, Г. Төлеуов,
М.С. Исатаев*, Э.М. ЗульбухароваКазахский национальный университет имени аль-Фараби, НИИЭТФ,
Казахстан, г. Алматы

*E-mail: Muhtar.Isataev@kaznu.kz

**Тепловые и динамические характеристики ближнего поля течения
трехмерной струи при наличии воздействия**

Цель данной работы заключается в экспериментальном исследовании когерентной структуры турбулентности в трехмерной струе. Было установлено, что в струйных течениях первоначально возникшие вихри не могут распасться на более мелкие, а попарно взаимодействуя друг с другом и сливаясь, образуют большой конгломерат вихрей, сохраняющих свою индивидуальность примерно до затухания струи по направлению течения. Экспериментально нами доказано, что максимальная частота турбулентных пульсаций не превышает частоту первичных крупномасштабных вихрей, образованных на начальном участке струйного течения.

При изучении трехмерных струй ранее было определено влияние начальных условий истечения и параметров управляющего воздействия на распределение скорости и температуры вдоль струи и в поперечных сечениях струи. Для объяснения обнаруженных особенностей в форме этих распределений необходимо более детальное исследование структуры организованных движений в ближней области течения трехмерных струй. Данная работа является продолжением исследований, направленных на выявление роли организованных вихревых движений в процессах смешения и теплопереноса в струйных течениях.

Ключевые слова: плоская свободная струя, крупномасштабные вихри, турбулентность, распределение скорости и температуры, дальнобойность.

С.И. Исатаев, Г. Төлеуов, М.С. Исатаев, Э.М. Зульбухарова

**Әсер бар кездегі үшөлшемді ағыншадағы ағыстың жақын өрісінің жылудық және
динамикалық сипаттамалары**

Жұмыстың мақсаты – үшөлшемді ағыншадағы турбуленттіліктің когеренттік құрылымдарын, олардың алысқа таралуын эксперименттік зерттеу. Ағыншалық ағындарда бастапқы туындаған құйындардың ұсақталып ыдырап кетпейтіндігі, ал қосақталып бір-бірімен әсерлесе отырып және қосылып, ағыс бағытында ағынша шамамен өшкенге дейін өзінің индивидуалдылығын сақтайтын, құйындардың үлкен конгломератын құрайтыны орнатылды. Турбуленттік пульсациялардың максималды жиілігі, ағыншаның бастапқы бөлімшесінде туындайтын бірінші реттік ірімасштабты құйындардың жиілігінен артапайтындығы эксперимент жүзінде дәлелденді.

Үшөлшемді ағыншаларды зерттеу кезінде ағыншаның өсі және көлденең қималарындағы жылдамдық пен температураның үлестірілуіне бастапқы шарттардың және сыртқы әсер параметрлерінің әсері бұрын анықталған болатын. Осы аңғарылған мәселелерді түсіндіру үшін үшөлшемді ағыншаның жақын облыстарында ірімасштабты құйындық құрылымдарды тереңірек зерттеу керек.

Осы жұмыс еркін ағыншалардың аэродинамикасына және жылутасымалдануына құйындық қозғалыстардың рөлін айқындауға қатысты зерттеулердің жалғасы болып табылады.

Түйін сөздер: жазық еркін ағынша, ірі масштабты құйындар, турбуленттік, жылдамдықтың және температураның таралуы, алысқа ұру.

S. Isatayev, G. Toleuov, M. Isatayev, E. Zulbuharova

Heat and performance of flow field near three-dimensional jets in the presence of exposure

The aim of this work is the experimental investigation of the coherent structure of turbulence in a three-dimensional jet, their maximum range. It was found that the jet streams originally appeared vortices can decay into smaller and mutually interacting with each other and merge to form a large conglomerate of eddies that retain their individuality until about the decay of the jet in the direction of flow. Experimentally, we have shown that the maximum frequency of turbulent fluctuations do not exceed the frequency of the primary large-scale vortices formed in the initial section of the jet stream.

When studying the three-dimensional jets previously defined effect of initial conditions and parameters the expiry of the control action on the velocity and temperature distribution along the jet and the cross sections of flow. For an explanation of the features found in the form of distributions to a more detailed study of the structure of organized movements in three-dimensional flow field near the jets.

This work is a continuation of studies aimed at identifying the role of organized vortex motions in the processes of mixing and heat transfer in the jet stream.

Key words: flat free jet, large-scale vortices, turbulence, velocity and temperature, range.

Экспериментальная установка

Для проведения опыта использовалась экспериментальная установка, оснащенная термоанемометрической аппаратурой и приборами, позволяющими измерять все основные характеристики течения, а также наблюдать и фотографировать теневую картину вихревого движения в исследуемой области.

С целью получения более полной информации о пространственной форме вихревых возмущений в теневом приборе применялись цветные визуализирующие диафрагмы и диафрагмы специальной формы, позволяющие получать более контрастную картину на малых масштабах вихрей и дополнительные сведения о направлении и интенсивности изменения температуры внутри вихрей.

В процессе измерений тепловых и динамических характеристик одновременно

производилось наблюдение и фотографирование картины течения в двух проекциях с видом со стороны короткой и со стороны длинной кромок выходного сечения сопла. Пространственная форма вихрей выявлялась на основе сопоставления этих двух проекций при одной и той же фазе развития крупных вихрей генерированных воздействием.

При измерении скорости потока при наличии акустического воздействия нельзя пользоваться трубкой Пито, так как статическое давление отлично от атмосферного. Простым и достаточно надежным способом измерения скоростей и давлений в таком случае является метод встречных трубок Пито. Подробно этот метод описывается в работе [1].

На рисунке 1 приведен пример пространственного распределения $\rho U^2 / \rho U_0^2$ в поперечном сечении трехмерной струи при большой амплитуде воздействующего сигнала.

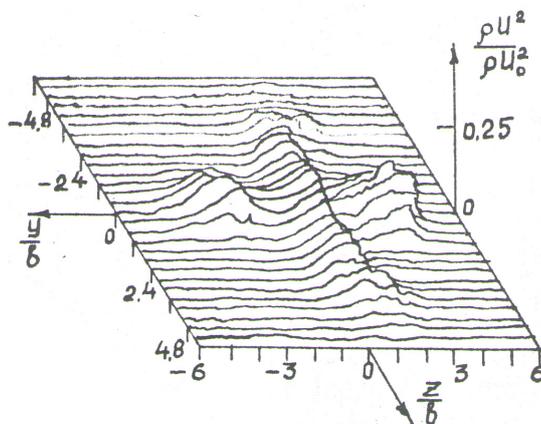


Рисунок 1 – Схема пространственного распределения $\rho U^2 / \rho U_0^2$ в поперечном сечении трехмерной струи

Причина появления дополнительных спутных колоколообразных максимумов объясняется развитием и распадом крупных когерентных структур, генерированных воздействием. Формула этих структур в различных стадиях развития была изучена путем наблюдения и фотографирования цветной теневой картины течения.

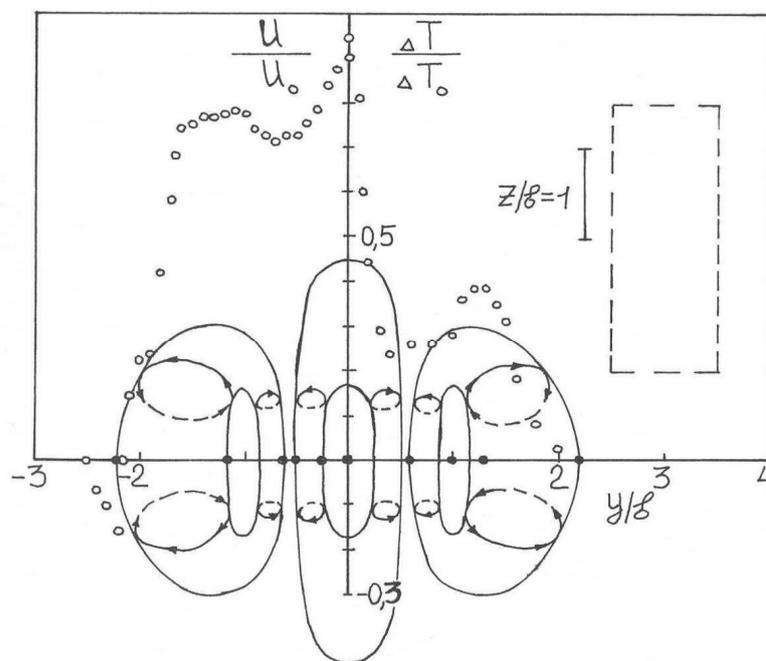
На рисунке 2 показан пример распределения безразмерной скорости и избыточной температуры в трехмерной струе при $\lambda \approx 3$ ($\lambda = a/b$ - параметр удлинения сопла, где a и b - размер длинной и короткой сторон выходного сечения сопла) на участке бифуркации вихревых возмущений, генерированных управляющим воздействием. Частота воздействующего сигнала соответствовала числу Струхала

$$Sh = f \cdot a / U_0 = 0,48,$$

где f - частота, рассчитанная по длинной стороне сопла.

На этих же рисунках приведены контуры периферийной части ядра вихревого возму-

щения с видом в направлении вдоль струи к выходному сечению сопла т.е. в плоскости yz . Приблизительная форма их получена на основе сравнения двух взаимно перпендикулярных проекций мгновенной теневой картины течения со стороны длинной и короткой кромок сопла и визуального наблюдения поведения пространственных профилей полного давления. По расположению этих профилей строились также размеры вихрей по оси, параллельной длинной стороне сопла (z). По характерным особенностям (на рисунке они выделены жирными точками), наблюдаемым в профилях температуры и скорости, подбирались размеры вихрей по оси, параллельной короткой стороне сопла (y). Например, две крайние жирные точки на оси абсциссы, соответствующие внешней границе крупных вихрей, показывают, что эта граница по своему направлению вращения имеет максимальную отрицательную скорость (пробуксовка вихря) и при этом соприкасается с окружающим холодным слоем воздуха.



$$U/U_0 - \lambda=3; \Delta T/\Delta T_0 - \lambda=2,66. U_0=6,03 \text{ м/с}; x/b=4; f=89 \text{ Гц}; T_0=324 \text{ К} (\Delta T_0=23,3\text{К})$$

Рисунок 2 – Распределение безразмерной скорости и избыточной температуры в поперечном сечении трехмерной струи. Мгновенная картина бифуркации вихревых возмущений.

Обсуждение результатов

Из анализа результатов наблюдения и фотографирования теневой картины течения следует, что происходит непрерывная деформация вихревого возмущения, сопровождающейся сложной траекторией сближения и перемыкания его частей, развивающихся со стороны коротких и длинных кромок сопла. Наличие минимума U/U_0 на участке $0,5 < y/b < 1$ при $x/b = 4$ связано с образованием локализованной области, в которой линейная скорость вихря после завершения процесса перемыкания вихревого шнура вблизи оси струи и окончательного формирования вихревого тора направлена против основного потока (две жирные точки на указанном участке). В конечном счете, это и объясняет причину разрыва трехмерной струи на три части при акустическом на нее воздействии [1]. Пунктирной линией на рисунке обозначены контуры выходного сечения сопла для оценки размеров и относительного расположения вихревых возмущений.

При поступательно-вращательном переносе инертной массы, как это происходит в крупных вихрях, близлежащие части неподвижной окружающей холодной жидкости циркулирующей переносятся во внутрь нагретой струи, и изменяет распределение температуры в поперечном направлении. При акустическом воздействии, вихри укрупняясь по размеру, еще больше усиливают такой процесс и в результате приводят к возникновению резких

немонотонностей в профилях избыточной температуры.

Датчик температуры при перемещении поперек струи регистрирует более высокую температуру в центральной ее части, менее высокую в фокусах крупных вихрей, а между фокусами крайнего тора минимум ее значения (характерная жирная точка соответствующая $y/b=1$ для $x/b=4$). Минимальная избыточная температура соответствует области струи, образуемой переносом более холодных слоев воздуха.

Следует иметь ввиду также, что на рисунке 2 приведены средние характеристики U/U_0 и $\Delta T/\Delta T_0$, однако сравнения проводятся с теневой картиной течения, получаемой при импульсном освещении и соответствующей мгновенной форме вихревых возмущений в измеряемом сечении. Поэтому профили средних характеристик необходимо рассматривать как осредненное суммарное поле, создаваемое средним течением и движущимися вихревыми структурами, имеющими в каждом сечении вполне определенную форму с собственными внутренними полями скорости и температуры.

Таким образом, генерированные воздействием вихревые структуры в каждом сечении имеют типичную форму, связанную с собственным внутренним полем скорости. Немонотонность в профилях средних характеристик обусловлены сложением среднего течения с осредненным полем, создаваемым движущимися вихревыми структурами.

References

- 1 Isataev S.I., Ajnabekova S.S. Issledovanie pristennoj turbulentnoj strui, rasprostranjajushhejsja vdol' krivolinejnoj poverhnosti // Problemy fiziki gaza, plazmy i zhidkosti. – Almaty, 1998, V.2. – S. 37-49.