

УДК 532.5

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ НА СРЕЗЕ СОПЛА НА СТРУКТУРУ И ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗВИТИЯ ДОЗВУКОВОЙ КРУГЛОЙ И ПЛОСКОЙ СТРУИ

© 2011 г.

Г.Р. Грек, Г.В. Козлов

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск

grek@itam.nsc.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Проведены экспериментальные исследования дозвуковой круглой и плоской струи в зависимости от профиля скорости на срезе сопла. Профиль скорости изменялся от ударного к параболическому. Методика исследований включала термоанемометрические измерения и дымовую визуализацию течения с синхронизацией его подсветки узким лазерным ножом с частотой акустического воздействия на струю. Показаны особенности развития струй при изменении начальных условий на срезе сопла.

**Ключевые слова:** дозвуковая круглая и плоская струя, термоанемометрические измерения, дымовая визуализация течения, лазерный нож, акустика, синхронизация.

Результаты экспериментальных исследований по изучению влияния профиля скорости на срезе сопла на структуру и характеристики развития круглой и плоской дозвуковой струи представлены в [1, 2]. Термоанемометрические измерения и дымовая визуализация струйного течения с использованием его стробоскопирования и записи полученной информации на видеокамеру позволили получить новые данные о механизме развития струи, когерентных вихревых структурах, возникающих при этом, их взаимодействии и влияния на эти процессы изменений начальных условий на срезе сопла и акустического воздействия.

### Круглая струя

На рис. 1 показано сравнение течения круглой струи с «ударным» (английский термин «top-hat») и параболическим профилем скорости

на срезе сопла, где 1 и 2 – ударный и параболический профиль скорости соответственно;  $a, b, в, г$  – поперечные сечения струи,  $U_0 = 5$  м/с,  $d = 200$  мм ( $Re = U_0 d / \nu = 6667$ ).

Видно, что в первом случае струя подвержена неустойчивости Кельвина–Гельмгольца с образованием характерных кольцевых вихрей, их взаимодействием с полосчатыми структурами, приводящим к образованию азимутальных вихревых структур типа  $\Lambda$ - или  $\Omega$ -образных вихрей. Напротив, в случае параболического профиля скорости в струе не обнаружено ни кольцевых, ни азимутальных вихрей. Струя имела область чисто ламинарного течения большой протяженности (см. рис. 1). Установлено, что если в первом случае акустика оказывала существенное влияние на масштаб и периодичность следования кольцевых вихрей, то во втором случае акустика различной частоты и интенсивности не оказывала влияния на область ламинарного течения струи. С другой сто-

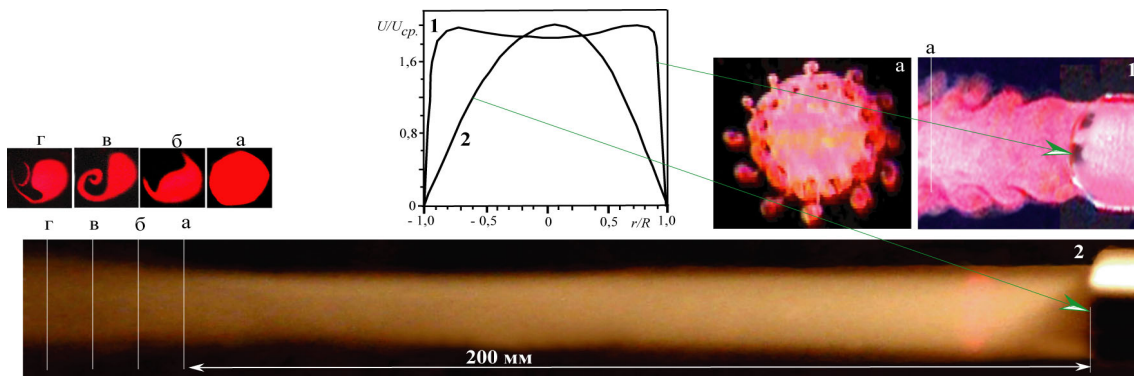


Рис. 1

роны, турбулентное разрушение струи с ударным профилем скорости связано с динамикой развития кольцевых и азимутальных вихрей, а аналогичный процесс у струи с параболическим профилем скорости связан с процессом ее неустойчивости к слабому поперечному потоку [3].

### Плоская струя

Показано, что генерированная симметричная мода неустойчивости ламинарной плоской струи подавляется асимметричной модой неустойчивости. Установлено, что ламинарная (рис. 2) и турбулентная струи на выходе из плоского канала Хагена – Пуазейля подвержены продольному синусоидальному колебанию как единое целое.

Обнаружено, что с ростом частоты акустического воздействия уменьшается период колебаний ламинарной и турбулентной струи в целом при сохранении асимметричности вихревой дорожки. На рис. 2 представлена визуализация дымом ламинарной плоской струи без акустики (1) и при акустическом воздействии с частотой от 30 до 80 Гц с шагом 10 Гц (2–8 соответственно),  $U_0 = 3.7$  м/с ( $Re = U_0 \times 2h/\nu = 3577$ ).

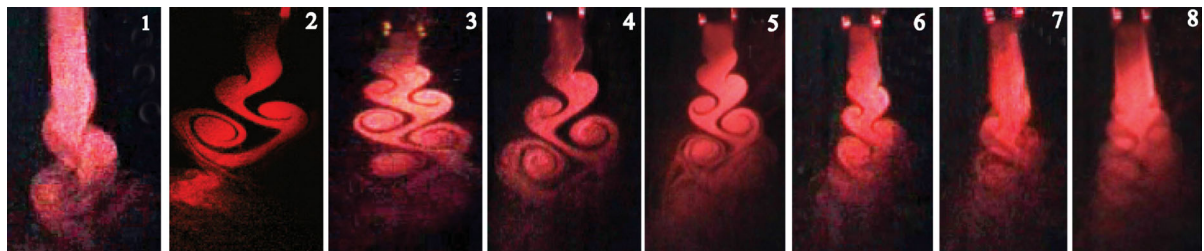


Рис. 2

Показано, что акустика способствует выделению цилиндрических вихрей асимметричной вихревой дорожки ламинарной плоской струи. Установлено, что взаимодействие полосчатых структур с вихревыми структурами ламинарной плоской струи приводит к генерации азимутальных  $\Lambda$ - или  $\Omega$ -образных вихрей, способствующих интенсификации процесса смешения струи с окружающим газом и ускорению турбулизации струи. Показано, что, в отличие от классической плоской струи с «ударным» профилем скорости, полосчатые структуры, генерированные на одной стороне сопла в струе с параболическим профилем скорости, взаимодействуют как с правыми, так и с левыми цилиндрическими вихрями вихре-

вой дорожки. Установлено, что ламинарная плоская струя с «ударным» профилем скорости имеет три вида неустойчивости: неустойчивость каждого из двух слоев сдвига и синусоидальную неустойчивость струи как единого целого. На рис. 3 изображена схема развития неустойчивости плоской струи с ударным профилем скорости на срезе сопла: 1 и 2 – неустойчивость двух слоев сдвига, 3 – синусоидальная неустойчивость струи как единого целого далее вниз по потоку при вырождении ударного профиля скорости в параболический профиль скорости.

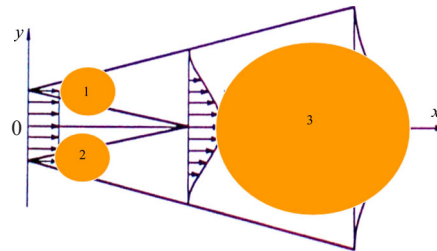


Рис. 3

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 08-01-00027), РНП. 2.1.2.541 и ГК 14.740.11.0354.

### Список литературы

1. Козлов Г.В., Грек Г.Р., Сорокин А.М., Литвиненко Ю.А. Влияние начальных условий на срезе сопла на структуру круглой струи // Теплофизика и аэромеханика. 2008. Т. 15, №1. С. 59–73.
2. Козлов Г.В., Грек Г.Р., Сорокин А.М., Литвиненко Ю.А. Влияние начальных условий на срезе сопла на структуру течения и устойчивость плоской струи // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2008. Т. 3, вып. 3. С. 25–37.
3. Грек Г.Р., Козлов В.В., Козлов Г.В., Литвиненко Ю.А. Моделирование неустойчивости ламинарной круглой струи с параболическим профилем скорости // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2009. Т. 4, вып. 1. С. 14–24.

**EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF THE MEAN VELOCITY PROFILE  
AT THE NOZZLE EXIT ON THE STRUCTURE AND THE DEVELOPMENT CHARACTERISTICS  
OF SUBSONIC ROUND AND PLANE JETS**

*G.R. Grek, G.V. Kozlov*

Experimental investigations of the subsonic round and plane jets depending on the mean velocity profile at the nozzle exit were carried out. The mean velocity profile is varied from top-hat to parabolic. The research technique included the hot-wire anemometric measurements and flow smoke visualization with synchronization of the narrow laser sheet lighting by acoustical action frequency on the jet. Peculiarities of the jet development depending on changes of the initial conditions at the nozzle exit are presented.

*Keywords:* subsonic round and plane jet, hot-wire anemometric measurements, flow smoke visualization, laser sheet, acoustics, synchronization.