

### КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 533.6.011: 532.527

## ВОЗНИКНОВЕНИЕ КОГЕРЕНТНЫХ СТРУКТУР ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИМПАКТНОЙ СТРУИ С ОТРАЖЕННЫМ ОТ ПРЕГРАДЫ ПОТОКОМ

В.Г. ПРИХОДЬКО, И.В. ЯРЫГИН, В.Н. ЯРЫГИН

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

Представлены результаты экспериментального исследования взаимодействия осесимметричной недорасширенной струи с преградами разной формы — плоской и в виде цилиндрической полости. Установлено, что наличие полости вызывает появление возвратного течения, взаимодействие которого со струей приводит к возникновению вихревых спиральных структур.

Образованию когерентных структур в турбулентных течениях посвящено большое количество работ. В качестве примера можно назвать исследования импульсных струй, исследования по устойчивости течений, по образованию продольных вихрей Тейлора–Гертлера в слое смешения сверхзвуковых нерасчетных струй, работы по изучению структуры турбулентного пограничного слоя [1, 2].

В данной статье сообщается о результатах исследований когерентных структур, образующихся при истечении осесимметричной сверхзвуковой недорасширенной струи из сопла в пространство с атмосферным или пониженным давлением. Исследования проводились на крупномасштабной вакуумной газодинамической установке ВИКИНГ Института теплофизики СО РАН [3]. Схема эксперимента представлена на рис. 1. На значительном удалении от сопла ( $l/d = 84-200$ , где  $l$  — расстояние от среза сопла,  $d$  — диаметр его выходного отверстия) струя натекала на преграду в виде плоскости круглой формы (рис. 1, *a*) или цилиндрической полости (рис. 1, *b*). Ось струи совпадала с центром преград. Диаметр преград равнялся 380 мм, глубина цилиндрической полости — 50 или 190 мм. Использовалась газожидкостная струя — воздух с мелкодисперсными каплями этанола, с давлением торможения около 0,12 МПа. Примесь этанола помогала визуализировать течение. Соплом служил

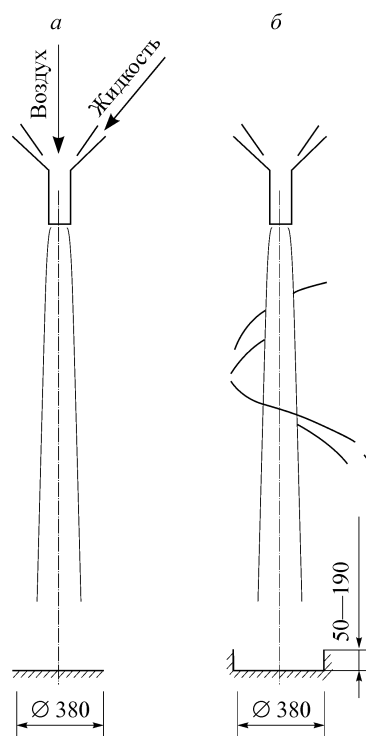
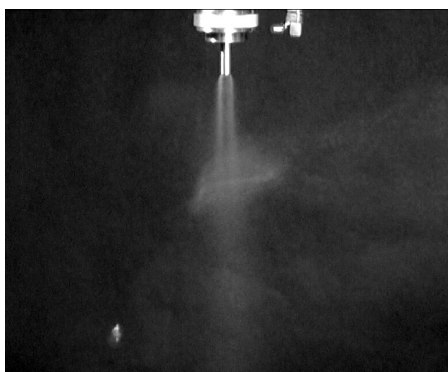


Рис. 1. Схема взаимодействия газожидкостной струи с преградами разной формы.

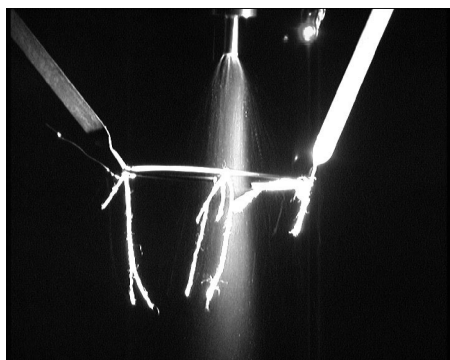


*Рис. 2.* Образование вихревых структур при взаимодействии газокапельной струи с преградой в виде полости.

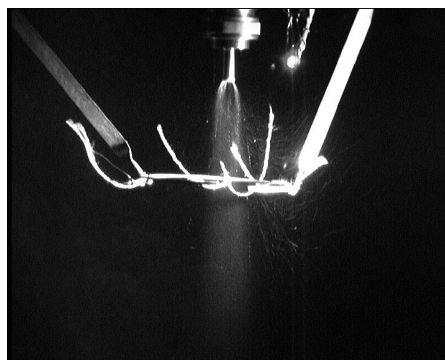
цилиндрический патрубок диаметром 5 мм со скругленной выходной кромкой. Число Рейнольдса, рассчитанное по параметрам в критическом сечении, составляло  $\sim 10^5$ . Визуализация течения осуществлялась путем видеосъемки процесса истечения. Зона наблюдения освещалась обычными лампами накаливания или с помощью “лазерного ножа”.

Анализ кадров видеосъемки показал наличие коротко живущих вихревых спиральных структур, периодически возникающих вокруг струи. Пример такой структуры показан на рис. 2. Появление вихрей связано с формой преграды — они возникают только при натекании на преграду в виде цилиндрической полости. При взаимодействии струи с плоской преградой вихревые образования не наблюдаются. Для понимания особенностей взаимодействия истекающей из сопла струи с преградами разной формы вокруг струи на расстоянии  $l/d \approx 10$  было установлено кольцо с контрольными нитями (диаметр кольца составлял 82 мм). Во время эксперимента нити ориентируются по направлению потока. Фотографии контрольных нитей показали, что взаимодействие струи с плоской преградой положение контрольных нитей не меняет (рис. 3, нити висят свободно), в то время как взаимодействие струи с цилиндрической полостью приводит к образованию возвратного течения в области между соплом и преградой (рис. 4, нити отклонены вверх), что, по-видимому, инициирует зарождение вихрей. Проведенные эксперименты показали, что вихревые структуры возникают в широком диапазоне давлений в окружающей струю пространстве — от атмосферного и ниже, вплоть до давлений порядка нескольких десятков миллиметров ртутного столба, а наличие структур не зависит от глубины цилиндрической полости.

В заключение заметим, что полученные результаты расширяют представления о структуре течения импактных струй. Для установления областей существования обнаруженного эффекта необходимы дальнейшие детальные исследования структуры возвратного течения, его зарождения внутри полости и взаимодействия с основной струей.



*Рис. 3.* Взаимодействие газокапельной струи с плоской преградой.



*Рис. 4.* Взаимодействие газокапельной струи с преградой в виде полости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеенко С.В., Куйбин П.А., Окулов В.Л. Введение в теорию концентрированных вихрей. — Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2003. — 504 с.
2. Когерентные структуры в турбулентном пограничном слое. ЦАГИ. Обзоры № 269. — 1993. — 206 с.
3. Приходько В.Г., Храмов Г.А., Ярыгин В.Н. Крупномасштабная криогенно-вакуумная установка для исследования газодинамических процессов // ПТЭ. — 1996. — № 2. — С. 162–164.

*Статья поступила в редакцию 10 сентября 2007 г.*