

Министерство образования Российской Федерации  
Казанский государственный энергетический университет  
Отдел энергетики Казанского научного центра РАН  
Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН  
Казанский государственный технический университет им. А.П. Туполева

## **ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОМАССООБМЕНА И ГИДРОДИНАМИКИ В ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИИ**

Всероссийская школа-семинар  
молодых ученых и специалистов  
под руководством академика РАН В.Е. Алемасова

2-4 октября 2002 г.

**Материалы докладов**

Казань 2002

## ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБЛАСТИ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ ЗА ОБРАТНЫМ УСТУПОМ<sup>5</sup>

Занько Ф.С., Михеев Н.И.

Отдел энергетики Казанского научного центра  
Российской академии наук, г. Казань

Отрыв турбулентного пограничного слоя даже в простейшем случае фиксированной точки отрыва до сих пор остается чрезвычайно сложной задачей, как для теоретического, так и для экспериментального исследования. Особый интерес вызывает такое свойство этого течения, как нестационарность: высокочастотная, соответствующая частоте срыва вихрей слоя смешения с кромки уступа, и низкочастотная, соответствующая так называемым "маховым" движениям всего слоя смешения [1]. Считается, что именно нестационарность является причиной того, что данное течение плохо поддается моделированию с помощью обычных моделей турбулентности. Поэтому очень важно представлять, каков физический механизм нестационарности при отрыве и присоединении турбулентного пограничного слоя.

По результатам ранее выполненных экспериментальных исследований можно предложить следующее описание механизма нестационарности. За один цикл махового движения происходит удлинение отрывной зоны, затем она разделяется на две части. Часть, расположенная ниже по течению, уносится вниз по потоку вместе с содержащимися в ней вихревыми структурами, что выглядит, как испускание завихренности.

В предыдущей работе авторов [2] выполнялись двухточечные измерения поверхностного трения в следе за обратным уступом. Один из датчиков трения находился в области присоединения ( $x_1=6,6$  Н;  $\gamma=0,1$  - вероятность обратного направления потока в этой точке), другой - в присоединившемся сдвиговом слое ( $x_2=10,4$  Н). При таком расположении датчиков была выявлена корреляционная связь между пульсациями продольной компоненты трения в области присоединения потока в присоединившемся сдвиговом слое. Соответствующая пространственно-временная корреляционная функция имела выраженный максимум. Эти экспериментальные данные были подвергнуты дальнейшей обработке по методике ВИТА. Суть метода заключается в определении локального среднего некоей величины  $Q(x, t)$  по формуле:

---

<sup>5</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 00-15-96690, 00-02-16409, 02-02-16719, 02-02-06144), Минобразования РФ и ФЦП "Интеграция" (проект Б0019, Б0020).

$$Q(x_i, t, T_0) = \frac{1}{T_0} \cdot \int_{t-0,5T_0}^{t+0,5T_0} Q(x, S) dS,$$

где  $T_0$  - некоторое время осреднения. Фактически метод ВГЛ отфильтровывает высокочастотную, “шумовую” составляющую исследуемого сигнала, не относящуюся к рассматриваемому явлению. Обработанные в соответствии с этой техникой сигналы датчиков по трению характеризовали состояние пристеночного слоя жидкости в окрестности измерительной точки. Мелкомасштабные флуктуации пристеночного трения, не связанные с низкочастотным изменением размеров рециркуляционной области, исключались. Значения функции  $I_{\text{ВГЛ}} < 0$  соответствуют случаю, когда жидкость в окрестности измерительной точки течет в основном назад. В присоединившемся сдвиговом слое случай  $I_{\text{ВГЛ}} < 0$  соответствует “заторможенному” участку локально усредненной скорости. Анализ корреляций между преобразованными по указанному алгоритму функциями показывает следующее. (04 По сравнению с исходными функциями изменения оказываются пренебрежимо малыми. Это говорит о том, что в потоке за обратным уступом имеется перенос крупномасштабных “заторможенных” участков жидкости из области присоединения в присоединившийся сдвиговый слой. Будет логичным считать этот результат проявлением приведенного выше механизма нестационарности.

С точки зрения предложенного описания механизма нестационарности становится понятным феномен переменной конвективной скорости в области присоединения. Также можно сделать вывод о несостоятельности оценок характерных пристеночных линейных масштабов по средней конвективной скорости в области присоединения. Вполне возможно, что уменьшение истинного размера энергонесущих вихревых структур при переходе из области присоединения в присоединившийся сдвиговый слой не происходит. И, наконец, резкое падение уровня напряжений Рейнольдса и интенсивности турбулентности за средней точкой присоединения может быть объяснено отрывом в этом месте части рециркуляционной области, в которой имеется повышенный уровень обеих величин.

#### Список литературы

1. Драйвер Д.М., Сигмиллер Х.Л., Марвин Дж.Г. Нестационарные процессы в присоединяющемся слое смещения //Аэрокосмическая техника. 1988. №3. С.35-42.
2. Зацько Ф.С., Козлов А.П., Михеев И.И. Влияние пульсаций отрывной зоны за обратным уступом на характеристики присоединившегося потока

// Проблемы тепломассообмена и гидродинамики в энергомашиностроении: Материалы докл. школы-семинара молодых ученых и специалистов под руковод. акад. РАН В.Е. Алемасова. Казань: Изд-во АБАК. 1999. С. 125-130.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ГАЗОВОМ ПУЗЫРЬКЕ

Сахабутдинов Ж.М., Кочнева О.С.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

В 1990 году Гейтен [1] впервые экспериментально обнаружил и описал явление устойчивого свечения маленького газового пузырька в жидкости под действием периодических акустических возмущений, поддерживаемых на границе жидкой сферы. С момента открытия явления исследователи разных стран проявляют значительный интерес к проблеме. В научной литературе проблема получила специальное название - задача о сонолюминесценции одиночного пузырька. Упрощенная модель явления рассмотрена в серии работ (для примера см. [2]). В этих работах предсказывается достижение больших значений давления и температуры в пузырьке. Однако в экспериментально эти расчеты не подтверждаются.

В данной работе предлагается модель нестационарного взаимодействия сжимаемой вязкой жидкости и газового пузырька в трехмерной постановке. В результате взаимодействия жидкой сферы и пузырька возникают значительные градиенты физических параметров, которые приводят к разрушению начальной сферической формы границы раздела двух сред.

Интегрируется полная система уравнений для идеального газа и сжимаемой вязкой жидкости

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho dV + \int_{\sigma} \rho u_j n_j d\sigma = 0, \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho u_i dV + \int_{\sigma} \rho u_i u_j n_j d\sigma - \int_{\sigma} p_{ij} n_j d\sigma = 0, \quad (i = 1, 2, 3), \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho E dV + \int_{\sigma} \rho E u_j n_j d\sigma - \int_{\sigma} p_{ij} u_i n_j d\sigma = 0, \quad (3)$$