

УДК 532.5

**СТРУКТУРА ОТРЫВНОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПРЕПЯТСТВИЕМ В КАНАЛЕ
НА ПУЛЬСИРУЮЩИХ РЕЖИМАХ ТЕЧЕНИЯ**

© 2011 г.

И.А. Давлетшин, Н.И. Мухеев

Исследовательский центр проблем энергетики КазНЦ РАН, Казань

davlet60@mail.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Представлены экспериментальные данные по длине отрывной области за препятствием в канале в пульсирующем потоке. Установлен эффект ее сокращения до двух раз по сравнению со стационарным режимом. Выполнены эксперименты по визуализации кинематической структуры отрывных пульсирующих потоков. Выявлено наличие вихревой дорожки за препятствием на пульсирующих режимах течения. Предложена классификация таких течений и составлена карта границ режимов в плоскости частоты и амплитуды наложенных пульсаций.

Ключевые слова: пульсации потока, отрыв потока, длина отрывной области, вихри, классификация.

Введение

Интерес, проявляемый к исследованиям отрывных пульсирующих потоков, обусловлен практической значимостью таких течений и наличием нерешенных задач в этом направлении. Имеющиеся данные по пульсирующим течениям в подавляющем большинстве относятся к течениям в гладких каналах [1]. Исследования различных авторов указывают на разный характер влияния наложенных пульсаций на параметры течения: от отсутствия влияния частоты и амплитуды пульсаций на гидравлическое сопротивление и теплоотдачу до значительного влияния. При этом установлено, что в фазах ускорения и замедления гидравлическое сопротивление и теплоотдача отличаются от квазистационарных значений в разы [2].

Задача становится еще более сложной, когда в пульсирующем потоке имеются отрывные области. Процессы в отрывных течениях даже в стационарных условиях имеют существенно нестационарный характер – с образованием вихревых структур в сдвиговом слое, продольными и поперечными колебаниями отрывной зоны [3]. Данные же по пульсирующим отрывным течениям на сегодняшний день имеют единичный характер и относятся к отдельным сочетаниям режимных параметров (частоты, амплитуды, скорости). Таким образом, исследования особенностей отрывных пульсирующих течений в широком диапазоне режимных параметров представляются актуальными.

Длина отрывной области

Исследования длины отрывной области X_R проводились в канале диаметром 64 мм и длиной 470 (1910) мм за диафрагмой диаметром 40 мм. Наложённые пульсации создавались периодическим перекрытием выходного сечения канала заслонкой по закону, близкому к гармоническому. Длина отрывной области определялась как расстояние от препятствия до точки присоединения, где осредненное по времени значение продольной компоненты напряжений трения на стенке $\tau_w = 0$.

По результатам нескольких серий экспериментов [4] при различных числах Рейнольдса (средних расходах воздуха) через рабочий участок ($U = 4.6–17.8$ м/с) выявлен эффект резкого уменьшения размера отрывной области X_R/h (h – высота препятствия) в зависимости от частоты наложенных пульсаций расхода газа (рис. 1).

Обобщение экспериментальных данных получено с использованием числа Струхалия, вычисленного по частоте наложенных пульсаций и длине отрывной области $Sh = fX_R/U$. В экспериментах частоты наложенных пульсаций расхода находились в диапазоне $f = 0–380$ Гц, относительная амплитуда скорости потока $\beta = 0.1–0.5$.

Минимальные значения длины отрывной области получены при $Sh \approx 1$, т.е. при совпадении пути, пройденного газом за период пульсаций скорости потока, с длиной отрывной области. При этих условиях достигался наибольший массообмен между отрывной областью и основным потоком.

ком, что и приводило к существенному (в полтора-два раза) уменьшению длины отрывной области.

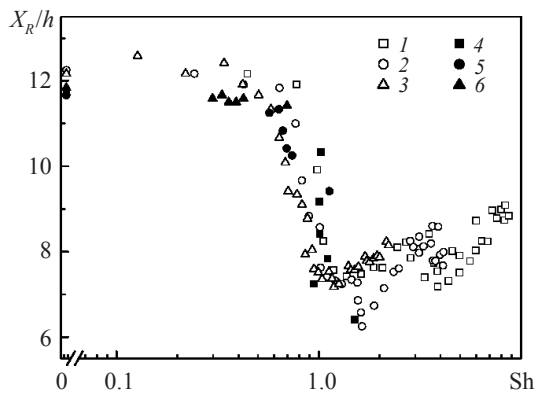


Рис. 1. Длина отрывной области в пучностях колебаний скорости (1, 2, 3) и давления (4, 5, 6) при: $U = 4.6$ м/с (1,4); $U = 8.4$ м/с (2,5); $U = 17.8$ м/с (3,6)

Кинематическая структура

Визуализация структуры течения в отрывной области при поперечном обтекании выступа пульсирующим потоком выполнена в канале квадратного поперечного сечения 0.4×0.4 м² длиной $L = 2.73$ м. В экспериментах использовались выступы высотой 34 и 70 мм, имеющие острую переднюю кромку. Видеофиксация картины течения производилась монохромной скоростной видеокамерой Fastec HiSpec HSM2GB-C в комплекте со светосильным объективом Navitar DO-2595. Режимные параметры в числах подобия Re , Sh , в различных экспериментах (в круглой трубе и установке визуализации) находились в одинаковых диапазонах.

В экспериментах выявлен факт образования разгонных вихрей за препятствием на пульсирующих режимах течения, которые формируются в фазе нарастания скорости, а в фазе убывания – отрываются, сносятся в основной поток и далее разрушаются. Частота образования вихрей равна частоте наложенных пульсаций.

На основе полученных данных предложена классификация структуры отрывных пульсирующих течений с разделением на 4 типа (рис. 2). Первый тип течения – *квазистационарный*. Здесь сохраняется структура течения, характерная для стационарного режима. Второй тип – *низкочастотный*: в отрывной области образуются крупномасштабные вихри вытянутой формы малой интенсивности. После отрыва от препятствия они довольно быстро распадаются. Третий тип – *резонансный*: образуются вихри круглой формы большого размера и интенсивности. Четвертый

тип (*высокочастотный*) характеризуется формированием вихрей небольшого размера с большими угловыми скоростями. Предложенная классификация хорошо согласуется с данными по длине отрывной области.

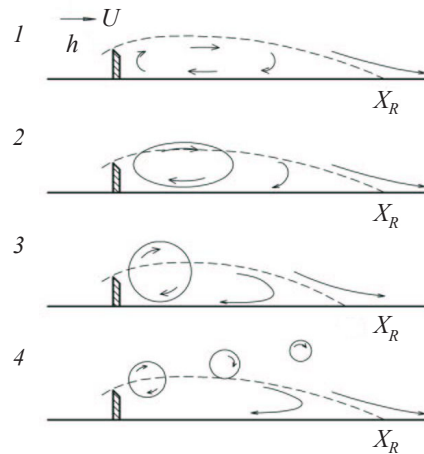


Рис. 2. Режимы пульсирующего отрывного течения

На основе полученных экспериментальных данных по визуализации кинематической структуры течения в широком диапазоне частот и амплитуд наложенных пульсаций и предложенной классификации составлена карта режимов отрыва пульсирующего потока (рис. 3).

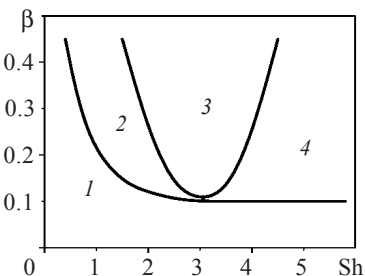


Рис. 3. Карта режимов пульсирующего отрывного течения

Она представляет собой разграничение типов течений в плоскости частоты Sh и амплитуды в наложенных пульсаций (число Sh посчитано по длине отрывной области на стационарном режиме).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 09-08-00597, 10-08-00426, 10-08-00428) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

Список литературы

- Gundogdu M.Y., Carpinlioglu M.O. Present state of art on pulsatile flow theory // Jap. Soc. Mech. Eng. B. 1999. Vol. 42, No 3. P. 384–410.
- Дрейцер Г.А., Краев В.М. Турбулентное тече-

ние газа при гидродинамической нестационарности. С. 131–149.

Красноярск: Изд-во Сиб. аэрокосм. акад, 2001. 147 с.

3. Симпсон Р. Обзор некоторых явлений, возникающих при отрыве турбулентного потока // Теоретические основы инженерных расчетов. 1981. Т. 103, №3.

4. Давлетшин И.А., Михеев Н.И. Отрывная область при обтекании препятствия пульсирующим потоком в канале // Изв. РАН. МЖГ. 2010. №5.

С. 86–91.

STRUCTURE OF A SEPARATION REGION BEHIND AN OBSTACLE IN A CHANNEL AT PULSATING FLOW REGIMES

I.A. Davletshin, N.I. Mikheev

Experimental data on the reattachment length behind an obstacle in pulsating channel flow are presented. The reattachment length was found to reduce down to two times compared to the steady case. Visualization of a kinematic structure of separated pulsating flows was carried out. Vortex street behind an obstacle in pulsating flow was revealed. Classification of such flows was submitted, and a flow bounds map in respect to frequency and amplitude of superimposed pulsations was plotted.

Keywords: flow pulsations, flow separation, reattachment length, vortices, classification.