

УДК 532.52

**О ВОЗНИКНОВЕНИИ АВТОКОЛЕБАНИЙ В СТРУЙНОЙ ЗАВЕСЕ,
РАЗДЕЛЯЮЩЕЙ ОБЛАСТИ С РАЗЛИЧНЫМИ ДАВЛЕНИЯМИ**

© 2011 г.

В.В. Прокофьев, И.И. Козлов, С.А. Очеретяный

НИИ механики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

prokof@imec.msu.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Проведено исследование условий автоколебательных режимов при истечении струи жидкости в плоский канал с поддувом воздуха в заглушенную его часть с образованием воздушной подушки с повышенным давлением. Показано, что характеристики автоколебаний сильно зависят от объема каверны. При неизменном поддуве амплитуда автоколебаний падает с ростом объема каверны, и при некотором пороговом значении автоколебания прекращаются. При больших поддувах воздуха возникает прерывистый (помпажный) режим течения, проведено подробное изучение режимов течения с помощью скоростной видеокамеры.

Ключевые слова: кавитация, струя, каверна, автоколебания, помпаж, унос газа, неустойчивость Рэлея–Тейлора, скоростная видеосъемка, эксперимент.

Проведенные ранее исследования плоского струйного течения с образованием искусственной вентилируемой каверны с отрицательным числом кавитации [1, 2] ограничивались докритическими и околокритическими режимами струйного течения (критический режим соответствует теоретическому предельному течению с присоединением каверны к стенке). Ниже речь идет о сверхкритических режимах.

Экспериментальная установка

Установка аналогична описанной в работе [2]. Все течение реализуется в зазоре между двумя прозрачными пластинами из оргстекла (расстояние между пластинами $h = 5$ мм). Жидкость (вода) через сходящееся сопло шириной $D = 25$ мм истекает в канал шириной $H = 50$ мм перпендикулярно его оси. Струя жидкости взаимодействует со стенкой канала – экраном – и свободно истекает в атмосферу. С противоположной стороны имеется тамбур, где путем поддува газа образовывалась воздушная полость.

Обозначим $P_k = p_k - p_a$, $P_0 = p_0 - p_a$ (p_k , p_0 , p_a – среднее давление в полости, давление пара воды и атмосферное давление соответственно), Q_g – объемный расход поддуваемого в полость газа, Q_l – средний расход жидкости. Введем следующие параметры: коэффициент давления в каверне $C_d = P_k/P$, коэффициент поддува газа в полость $C_q = Q_g/Q_l$. Введем еще

коэффициент $C_k = \Omega_k/DHh$, характеризующий объем газовой полости. Объем полости Ω_k ограничен стенками тамбура, а неизвестная граница струи при вычислении объема Ω_k заменяется окружностью радиуса H .

Зависимость средних по времени параметров от величины поддува воздуха

Величина относительного объема каверны сохранялась постоянной $C_k \approx 12$. Данные рис. 1 хорошо согласуются с теоретической величиной коэффициента давления ($C_d \approx 0.59$) при критическом режиме течения (для данной геометрии околокритическому режиму соответствует коэффициент поддува $C_q \approx 1$ [1]).

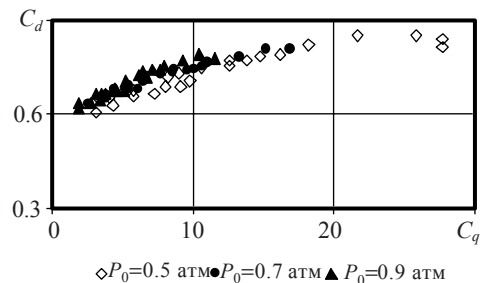


Рис. 1. Зависимость коэффициента среднего давления в каверне

Размах колебаний давления A на рис. 2 отнесен к P_0 . Видно, что автоколебания начинаются при коэффициентах поддува, больших некоторой величины C_q (в нашем случае ≈ 3) и

далее монотонно растут. При $C_q > 10$ A/P_0 становится больше 1, здесь возникает ситуация, когда давление в камере в некоторый момент становится больше среднего давления напора воды и возникают предпосылки к возникновению возвратного течения жидкости в сопле. Число Струхала в том же диапазоне измерений слабо зависит от коэффициента поддува газа.

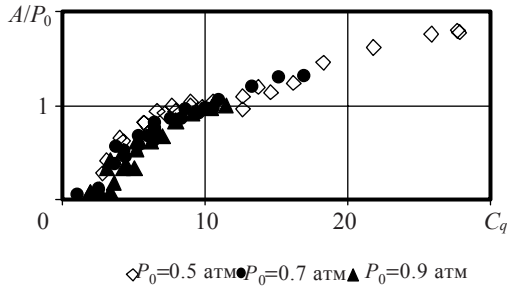


Рис. 2. Размах колебаний давления в камере

Влияние объема камеры на автоколебания

На рис. 3 показана зависимость интенсивности пульсаций давления в полости (в терминах относительного размаха пульсаций A/P_0) от величины коэффициента объема полости C_k при постоянных значениях коэффициента поддува C_q . Видно довольно сильное падение интенсивности пульсаций с увеличением объема полости, причем наклон уменьшается с ростом C_q . Пороговое значение C_k сильно зависит от величины поддува газа. Отметим, что с уменьшением C_k пульсации давления в полости интенсивно растут.

Исследование амплитудных спектров (здесь

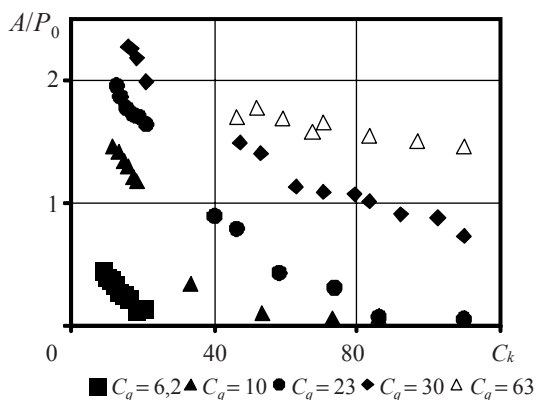


Рис. 3. Зависимость интенсивности колебаний

не приводятся) показывают существование в режиме автоколебаний одной частоты, слабо возрастающей с уменьшением объема камеры. При C_k большем порогового автоколебания исчезают,

амплитуда колебаний падает на порядок, спектр меняется на «шумовой».

Визуальное исследование режимов течения

Наряду с измерением пульсаций давления проводилась скоростная видеосъемка картины течения камерой Visario-1500 со скоростью 4000 кадр/с. Проведено изучение процесса возникновения автоколебательных режимов, а при дальнейшем увеличении поддува – перехода от колебательного режима (струя совершает колебания около своих стационарных границ) к прерывистому (помпажному) режиму. На рис. 4 показано сопоставление результатов обработки видеоряда с осциллограммой для прерывистого режима течения ($C_q \approx 80, C_k = 22.4, P_0 = 0.2$ атм).

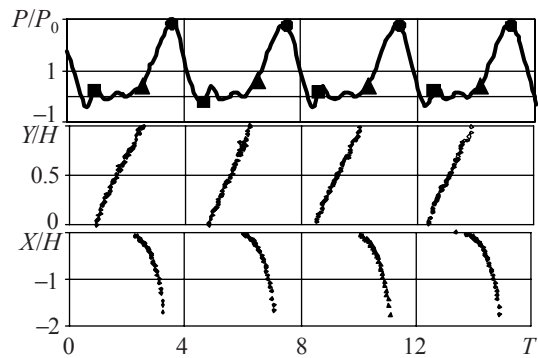


Рис. 4. Осциллограмма и обработка видео

В этом режиме процесс истечения струи разделяется на два этапа – истечение струи в канал, затем выбрасывание жидкой пробки из канала наружу. При выбрасывании пробки наблюдается развитие рэлей–тейлоровских (Р–Т) структур на задней границе пробки. Верхний график – осциллограмма безразмерного избыточного давления в камере P/P_0 , ниже – график изменения поперечной (X/D) координаты головы истекающей из сопла жидкой струи от времени, внизу график изменения продольной (Y/D) координаты переднего фронта Р–Т структур. Начало координат совпадает с правой кромкой сопла, характерный размер – ширина канала, время отнесено к характерной величине H/V_∞ . На осциллограмме квадратами отмечены моменты удара струи о стенку–экран; треугольниками – моменты достижения Р–Т структур внешней границы жидкой пробки.

Работа поддержана РФФИ, гранты № 09-08-00211, 10-01-00392.

Список литературы

1. Козлов И.И., Прокофьев В.В. Унос газа из вентилируемой каверны с отрицательным числом кавитации // Изв. РАН. МЖГ. 2001. №4. С. 92-106.

2. Козлов И.И., Прокофьев В.В., Пучков А.А. Исследование развития волновых структур на неустойчивой границе каверны с помощью скоростной видеокамеры // Изв. РАН. МЖГ. 2008. №2. С. 137-148.

**ON THE OCCURRENCE OF SELF-OSCILLATIONS
IN THE JET VEIL DIVIDING AREAS OF DIFFERENT PRESSURES**

V.V. Prokof'ev, I.I. Kozlov, S.A. Ocheretyany

Conditions of the occurrence of self-oscillatory modes are investigated for a liquid flowing into a flat channel with air injection into its muffled part and with the formation of an air cushion of elevated pressure. It is shown that characteristics of self-oscillations strongly depend on cavity volume. For an invariable air injection, the amplitude of self-oscillations falls with the growth of the volume of the cavity, and for its certain threshold value the self-oscillation stops. For strong air injections, a faltering (pompage) flow mode appears. A detailed study of the flow modes using a high-speed video-camera is described.

Keywords: cavitation, jet, cavity, self-oscillations, pompage, carry-over of gas, instability of the Rayleigh–Taylor, a high-speed video shooting, experiment.