

ких микро- и макроскопических временах мы связываем с кластерской структурой воды, наличием в ней большого числа межфазных границ и локальных нарушений сетки водородных связей [3]. Следует учитывать и магнитную гетерогенность воды (пара- и ортовода). Согласно [9] в таких системах даже при отсутствии сильных экзотермических возмущений могут возникать длинновременные атермические флуктуации, типа фликкер-шума. Накапливаясь, эти флуктуации будут способствовать перестройке всей ажурной сетки водородных связей и переходу воды в новое квазиравновесное состояние (рис. 4). В [10] мы наблюдали флуктуации светорассеяния воды с периодами порядка минут. После воздействия поля H ($H=12,3$ А/м и $t_{\text{из}}=6$ ч) эти флуктуации смещались в область малых времен.

Резонансные магнитные поля, воздействуя на спиновую систему воды, смещают величину рН. Последняя, по-видимому, определяется не только P и T системы, но в силу магнитной гетерогенности воды зависит от соотношения концентраций пара- и ортомолекул. Несмотря на малость по энергии магнитных эффектов, вызванные ими сдвиги рН могут сопровождаться значительными изменениями энтропии [11], т. е. упорядочением структур воды.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Семихина Л. П., Киселев В. Ф., Любимов Ю. А. Препринт физ. ф-та МГУ, 1986, № 22. [2] Семихина Л. П., Киселев В. Ф. // Изв. вузов. Физика. 1988, № 5. С. 13. [3] Киселев В. Ф., Салецкий А. М., Семихина Л. П. // Теор. и эксперимент. химия. 1988, № 3. С. 330. [4] Семихина Л. П. Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М. (МГУ), 1989. [5] Левич В. Г. // УФН. 1966, 88, С. 789. [6] Зельдович Я. Б., Бучаченко А. Л., Франкевич Е. Л. // УФН. 1988, 155, № 1, С. 1. [7] Волькенштейн М. В. // Природа. 1983, № 11, С. 96. [8] Конюхов В. К., Прохоров А. М. и др. // Тр. ИОФАН. 1988, 12, С. 100. [9] Тимашев С. Ф. // ДАН СССР. 1985, 281, № 1, С. 118. [10] Березин М. В., Ляпин Р. Р., Салецкий А. М. Препринт физ. ф-та МГУ, 1988, № 21. [11] Robinson G. W., Lee J. // J. Chem. Soc. Farad. Trans 2. 1986, 82, P. 2351.

Поступила в редакцию
20.03.89

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1990. Т. 31, № 2

УДК 534.83; 534.88

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ДВИЖУЩЕГОСЯ В ВОДЕ ЦИЛИНДРА

Ф. В. Рожин, О. С. Тонаканов, С. Г. Михайлов

(кафедра акустики)

Экспериментально изучены функции взаимной корреляции пульсаций давления на поверхности обтекаемого водой цилиндра при скорости течения 0,5 м/с. Показано, что при разнесении вдоль набегающего потока двух малых приемников взаимная корреляция пульсаций давления убывает по экспоненциальному закону. Предложен закон аппроксимации опытных данных, показано отличие от плоского случая.

Экспериментальные работы по изучению пространственной корреляции пульсаций давления на поверхности цилиндра, обтекаемого потоком жидкости перпендикулярно его оси, относятся к сравнительно узкому диапазону частот, прилегающему к частоте Струхала [1]. В то же время для исследования шумов обтекания, возникающих при обтекании цилиндрического гидрофона (одна из традиционных его форм) по-

током воды, представляет существенный интерес информация о пространственной корреляции пульсаций давления на его поверхности в более широком диапазоне частот.

В данной работе для перемещения цилиндра с квазиточечными приемниками пульсаций давления использовалась карусельная установка с двухступенчатым амортизатором для уменьшения уровня вибропомех, вызываемых движущим механизмом. С помощью этой установки цилиндр перемещался в гидробассейне по горизонтальной окружности на глубине около 0,4 м со скоростью $u_0=0,5$ м/с. Период вращения установки составлял 12 с. Во время движения цилиндр располагался так, что его ось была почти вертикальна (отклонение от вертикали не более 3°). Конструкция подвески цилиндра исключала его колебания под действием гидродинамических сил.

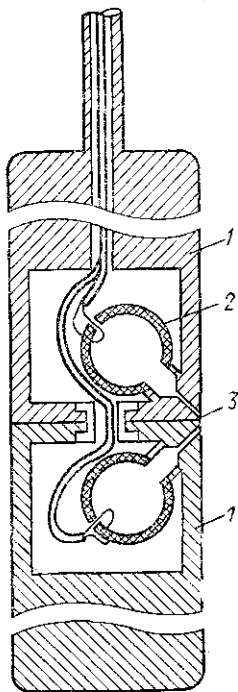


Рис. 1

Рис. 1. Конструкция приемника для измерения пространственной корреляции пульсаций давления на поверхности цилиндра

Рис. 2. Результаты измерений коэффициента пространственной корреляции пульсаций давления: $f=10$ (кружки); 20 (треугольники) и 40 Гц (квадраты); $\varphi=120^\circ$ (светлые значки), 150° (значки с точкой внутри) и 180° (темные значки)

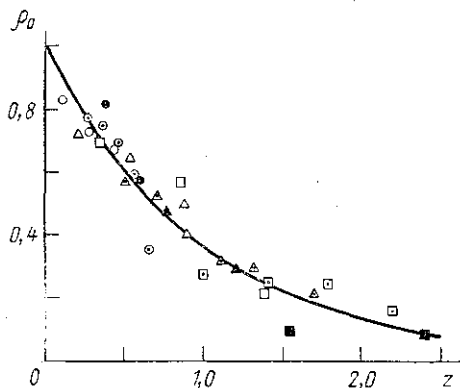


Рис. 2

В опытах использовался металлический круговой цилиндр диаметром 50 мм и удлинением 5, состоящий из двух половин 1 (рис. 1), которые могли вращаться относительно друг друга. В каждой половине цилиндра размещался приемник давления 2, представляющий собой пьезоэлемент, внутренняя полость которого соединена с внешней средой каналом 3 с диаметром 1 мм. Полости пьезоэлементов и каналы при измерениях заполнялись с помощью шприца водой, что обеспечивало передачу пульсаций давления, возникающих у открытого конца канала 3, на пьезоэлемент. Диаметр канала и определял размер чувствительного элемента на поверхности цилиндра. Подробнее свойства такого приемника описаны в [2].

Конструкция подвески цилиндра позволяла устанавливать произвольные значения угла φ между передней критической точкой и отверстием приемника в верхней половине цилиндра. Вращением нижней половины относительно верхней можно было изменять расстояние вдоль направляющей между отверстиями. Расстояние между отверстиями вдоль образующей цилиндра в процессе проведения опытов не изменялось и составляло 1,5 мм.

Очевидно, что при указанном способе перемещения цилиндра среда вокруг него, вообще говоря, не была покоящейся, так как при движении цилиндра образуется спутное течение. Однако скорость этого течения увеличивается лишь во время нескольких первых оборотов установки после ее пуска, поэтому измерения начинались через достаточный для стабилизации спутного течения интервал времени. Скорость установившегося спутного течения $2 \div 3$ см/с.

Указанным значениям диаметра цилиндра и скорости его движения в воде соответствует число Рейнольдса $2,5 \cdot 10^4$, число Струхала около 0,2 и частота Струхала 2 Гц.

Сигналы с приемников после усиления и фильтрации поступали на измеритель корреляционных характеристик, на выходе которого можно получить зависимость коэффициента взаимной корреляции от времени задержки τ одного из сигналов. В предварительных опытах было установлено, что спектры мощности пульсаций давления, возникающих на поверхности цилиндра, качественно близки к спектрам, полученным при измерениях на шаре [2]. Поскольку интерес представляют коэффициенты корреляции пульсаций $\rho(\tau)$ в области развитой турбулентности, измерения проводились при значениях угла $\varphi = 120^\circ, 150^\circ$ и 180° . Анализ сигналов проведен в третьооктавных полосах со стандартными центральными частотами 10, 20 и 40 Гц. Время усреднения значений $\rho(\tau)$ составляло 40 с. В области углов φ , близких к 120° , быстро изменяется характер частотной зависимости спектральной плотности пульсаций давления. При значениях φ , близких к 180° , изменения спектральной плотности невелики, однако в этой области можно ожидать наибольшей зависимости скорости пульсаций от угла. В связи с этим разнесение приемников вдоль направляющей цилиндра x в указанных областях углов по возможности должно быть сделано минимальным. Были выбраны следующие значения x : при $\varphi = 120^\circ$ — 0; 2 и 4 мм, при $\varphi = 150^\circ$ — 0; 1; 2; 3; 4 и 6 мм, при $\varphi = 180^\circ$ — 0 и 2 мм.

По зависимостям $\rho(\tau)$ определялся максимальный коэффициент корреляции ρ_0 и соответствующая ему задержка τ_0 . По значениям τ_0 определялась средняя фазовая скорость пульсаций давления $u = |x|/\tau_0$. Вдоль направляющей при $\varphi = 120^\circ$ $u = 0,48$ м/с, при $\varphi = 150^\circ$ $u = 0,28$ м/с, при $\varphi = 180^\circ$ $u \rightarrow \infty$. В поперечном направлении $u \rightarrow \infty$. Зависимость максимального значения коэффициента корреляции ρ_0 от разнесения приемников в соответствии с гипотезой подобия аппроксимировалась функцией вида [3]

$$\rho(x, y, \varphi_i, f_j) = \exp \left(-\alpha_i \frac{f_j}{u_0} |x| - \beta_i \frac{f_j}{u_a} |y| \right), \quad i, j = 1, 2, 3,$$

где x, y — разнесение приемников вдоль и по нормали к направляющей цилиндра соответственно; φ_i, f_j — указанные значения угла φ и частоты f ; α_i и β_i — искомые коэффициенты, зависящие от φ . По полученным экспериментальным данным методом наименьших квадратов были определены коэффициенты α_i и β_i , представленные в таблице.

Из приведенных данных следует, что коэффициент α изменяется мало, а коэффициент β , определяющий интервал корреляции поперек по-

тока, увеличивается с ростом угла φ . Экспериментально полученные значения $\rho_0(z)$ представлены на рис. 2, где

$$z = \alpha_i \frac{f_j}{u_0} |x| + \beta_i \frac{f_j}{u_0} |y|, \quad i, j = 1, 2, 3,$$

а сплошная кривая соответствует зависимости $\rho_0 = \exp(-z)$. Экспериментальные точки достаточно кучно лежат вблизи сплошной линии, что позволяет утверждать, что выбранная модель описания экспериментальных данных удовлетворительна. Надо отметить, что в приведенных выражениях используется скорость движения цилиндра u_0 , а не фазовая скорость пульсаций давления u , как было предложено Корксом [3]. Это вызвано тем, что фазовая скорость пульсаций давления вдоль течения на поверхности цилиндра, как было указано выше, может принимать бесконечно большие значения, что является принципиальным отличием от случая плоского турбулентного пограничного слоя. Кроме того, отношение полученных коэффициентов α и β существенно отличается от отношения известных для плоского турбулентного пограничного слоя коэффициентов $\alpha_0 = 0,55$ и $\beta_0 = 3,5$ [3]. Приведенные результаты свидетельствуют о том, что в зоне турбулентного течения за цилиндром действуют иные механизмы переноса пульсаций давления в сравнении со случаем плоского слоя, а также позволяют аппроксимировать функциями $\exp(-z)$ экспериментально наблюдаемые зависимости коэффициента пространственной корреляции пульсаций давления на поверхности цилиндра. Дальнейшие исследования в этой области, как экспериментальные, так и теоретические, по-видимому, могут дать новые сведения о природе турбулентных течений, и быть полезными для разработчиков гидроакустической аппаратуры.

φ	120°	150°	180°
α	4,2	5,0	5,6
β	3,6	8,6	13

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Девнин С. И. Справочник по гидроаэромеханике плохообтекаемых тел. Л., 1983. [2] Рожин Ф. В., Тонаканов О. С., Михайлов С. Г. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1987. 28, № 4. С. 36. [3] Мининвич И. Я., Перник А. Д., Петровский В. С. Гидродинамические источники звука. Л., 1972.

Поступила в редакцию
23.03.89