

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ВОДНУЮ СУСПЕНЗИЮ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

И. Н. Иванова, Ю. Г. Пыркин, В. П. Петров, М. А. Силаев

(кафедра физики моря и вод суши)

Экспериментально исследовано влияние турбулентности на некоторые характеристики водной суспензии твердых частиц. Установлено, что величина дисперсии пульсации модуля скорости течения в суспензии твердых частиц ниже, чем в чистой воде.

При изучении различных природных явлений часто используется их моделирование в лабораторных условиях. При этом возможно многократно воспроизвести исследуемый процесс и, что особенно ценно, из многообразия одновременно действующих в природе факторов выделить один или несколько, влияние которых на моделируемое явление следует рассматривать отдельно.

Часто необходимо исследовать влияние турбулентности в жидкости на различные происходящие в ней процессы. В частности, турбулентность оказывает определяющее влияние на перенос тепла, соли, количества движения, биомассы, твердых частиц и других свойств [1].

Существует ряд методов моделирования турбулентности в лабораторных условиях. Например, колеблющиеся в жидкости решетки с отверстиями разной формы и размеров могут имитировать турбулентность и позволяют исследовать ее влияние на термоклин или халоклин, что важно для изучения процессов, происходящих в аналогичных океанских зонах [2].

Подобные приемы могут быть использованы для рассмотрения влияния турбулентности на скорость осаждения твердых частиц в жидкости. Это влияние представляет интерес, поскольку твердые частицы, взвешенные в потоке жидкости, могут абсорбировать и переносить на своей поверхности вредные примеси, т. е. оказывать существенное воздействие на экологию природной среды. Уже только это обстоятельство делает актуальными исследования взаимодействия в жидкости твердых частиц и турбулентности, в том числе и при физическом моделировании этого явления в лабораторных условиях.

Параметры турбулентности, генерируемой колеблющейся решеткой, зависят от ряда факторов, например от формы решетки (с квадратными или круглыми отверстиями) и отношения (S) площади свободной поверхности решетки, проницаемой для жидкости, к общей площади [3]. Установлено [4], что для решетки с квадратными отверстиями оптимальное значение $S = 0,33$, а для решетки с круглыми отверстиями $S = 0,44$. Кроме того, производство турбулентности решеткой определяется частотой и амплитудой колебаний и вязкостью жидкости. Одним словом, параметры турбулентности, генерируемой в лаборатор-

ных условиях, должны определяться особо в каждом конкретном случае.

Экспериментальная установка представляла собой прямоугольный бак с размерами $30 \times 30 \times 60$ см, боковые стенки и дно которого сделаны из органического стекла. Для турбулизации жидкости использовалась решетка, изготовленная из брусков органического стекла сечением 1×1 см с расстояниями между центрами брусков 2,8 см. При этом отношение свободной поверхности решетки к ее общей площади равно $S = 0,34$. В этом случае можно считать, что генерируемая колеблющейся решеткой турбулентность будет результатом взаимодействия движущихся через ее окна струй жидкости [4].

Решетка приводилась в колебательное движение двумя эксцентриками, связанными через редуктор с электродвигателем. Конструкцией установки предусмотрено изменение амплитуды и частоты колебаний решетки.

Установка была оснащена измерительной системой для регистрации модуля скорости турбулентного течения с помощью полупроводникового микротерморезистора МТ-54. Схема измерителя скорости течения предусматривала частичную линеаризацию характеристики прибора [5].

Эксперименты проводились в чистой воде и в водной суспензии, содержащей мелкие твердые частицы размером от 1 до 50 мкм. Датчик скорости размещался от центра колеблющейся решетки с шагом 0,2–1 см. Частота колебаний решетки изменялась от 0,38 до 0,8 Гц.

На рис. 1 приведены зависимости дисперсии пульсаций модуля скорости течения в чистой воде от частоты колебаний решетки на разных расстояниях от нее. Амплитуда колебаний решетки во время всех этих экспериментов была постоянной и равной 1,5 см. За нуль отсчета расстояния от решетки принималось положение датчика в центре отверстия решетки, когда она сама находилась в среднем положении.

Как видно из рис. 1, максимальное значение дисперсии пульсаций модуля скорости течения наблюдалось в центральной части отверстия решетки при частоте ее колебаний 0,76 Гц. С уменьшением частоты величина дисперсии уменьшалась. Аналогично изменялась толщина слоя, охваченная колебательным движением. Так, если значение дисперсии пуль-

саций модуля скорости течения обращается в нуль на расстоянии 8,5 см от решетки при частоте 0,8 Гц, то с уменьшением частоты колебаний решетки эта величина уменьшается.

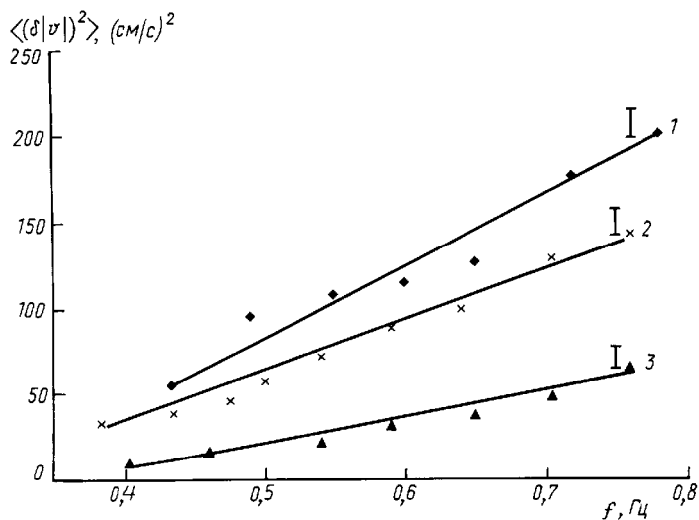


Рис. 1. Зависимость дисперсии пульсаций модуля скорости течения от частоты колебаний решетки: в центре решетки (1), на расстоянии 1,5 (2) и 2,5 см (3) от центра решетки

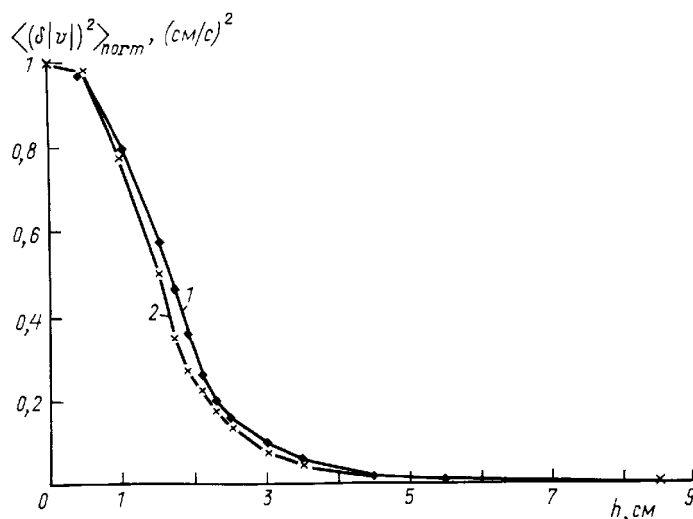


Рис. 2. Изменение дисперсии пульсаций модуля скорости течения в чистой воде (нормированной на ее максимальное значение для данной частоты), по мере удаления от решетки при частоте 0,8 (1) и 0,38 Гц (2)

На рис. 2 приведены кривые, показывающие изменения значений дисперсии пульсаций модуля скорости течения, нормированных на максимальное для данной частоты значение, при изменении расстояния от центра решетки. Измерения выполнены в чистой воде. Как следует из рис. 2, для разных частот колебаний решетки кривые достаточно близки. Это свидетельствует об общности характера возбуждения и затухания колебаний в чистой воде по мере удаления от колеблющейся решетки.

Весьма интересно повторить этот эксперимент в суспензии. При этом, если при какой-то частоте колеблющейся решетки кривые, характеризующие дис-

персию пульсаций модуля скорости течения для чистой воды и для суспензии, заметно разойдутся, то это значит, что часть турбулентной энергии поглотилась твердыми частицами и, как следствие этого, скорость их осаждения уменьшилась.

Один из результатов такого эксперимента приведен на рис. 3, где показано изменение значений дисперсии пульсаций модуля скорости течения для чистой воды (кривая 1) и для водной суспензии твердых частиц (кривая 2) с концентрацией твердой фазы порядка 10^{-3} г/см, значение которой в дальнейшем будет уточнено.

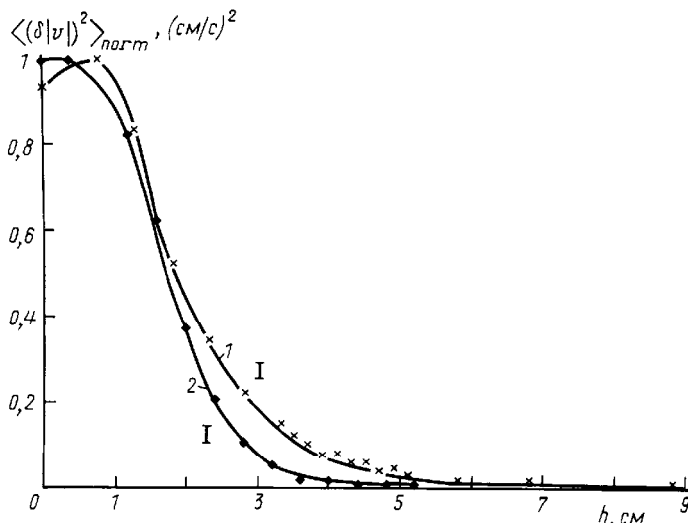


Рис. 3. Изменение дисперсии пульсаций модуля скорости течения (нормированной на ее максимальное значение) для чистой (1) и мутной (2) воды

Из рис. 3 хорошо видно, что кривая 2 (для суспензии) характеризуется значительно меньшим, чем для чистой воды, значением дисперсии пульсаций модуля скорости течения. Это обстоятельство свидетельствует о расходе части турбулентной энергии на преодоление так называемых сил плавучести [6], что в конечном счете приводит к уменьшению вертикальной скорости осаждения твердых частиц. Такое уменьшение ранее нами было получено экспериментально [1].

Сравнительный анализ гранулометрического состава частиц и энергетических спектров турбулентности даст возможность выявить наиболее активные участки взаимодействия в системе «твердая и жидкая фазы» суспензии, наличие которых, по мнению авторов, приводит к уменьшению скорости осаждения твердых частиц в отдельных диапазонах их крупности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 96-05-66178).

Литература

1. Пыркин Ю.Г., Силаев М.А. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1993. № 2. С. 77 (Moscow University Phys. Bull. 1993. No. 2. P. 75).

2. *Воропаев С.И.* Дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 1979.
3. *Hopfinger E.J., Toly J.A.* // J. Fluid Mech. 1976. **78**, No. 1. P. 155.
4. *Villermaux E., Sommeria J., Gagne Y., Hopfinger E.J.* // J. Fluid Mech. 1991. **10**, No. 4. P. 427.
5. *Аббасов К.Ш., Иванова И.Н., Пыркин Ю.Г.* и др. // Водные ресурсы. 1998. № 1. С. 71.
6. *Тернер Дж.* Эффекты плавучести в жидкостях. М., 1977.

Поступила в редакцию
25.05.98