

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ОПРОКИДЫВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОЛН БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ В ТРЕХСЛОЙНОЙ ЖИДКОСТИ

А.А. Чесноков
ИГиЛ СО РАН, Новосибирск

Возмущения плотности в стратифицированной жидкости распространяются в виде внутренних волн, понижающих или повышающих уровень пикноклина. Особый интерес представляют уединенные внутренние волны, которые могут достигать больших амплитуд, сравнимых с толщиной слоя жидкости. Такие волны могут быть устойчивыми или они могут опрокидываться и разрушаться из-за конвективной и/или сдвиговой неустойчивости. Опрокидывающиеся волны усиливают окружающие турбулентные движения, способствуют общему перемешиванию в водной толще.

Предложена одномерная длинноволновая модель, описывающая распространение внутренних волн большой амплитуды в трехслойной жидкости в приближении Буссинеска. Особенностью модели является возможность учитывать эффект обрушения волн и турбулентного перемешивания. Уравнения типа Грина–Нагди используются для моделирования течения в верхнем и нижнем однородных слоях. В промежуточном гидростатическом слое жидкость неоднородна и ее течение описывается усредненными по глубине уравнениями мелкой воды для сдвиговых течений. Распространение волны большой амплитуды в жидкости приводит в движение внешние слои, что может привести к развитию неустойчивости Кельвина–Гельмгольца. В модели этот эффект учитывается законом вовлечения, полученным как условие равновесия в рамках более общей модели формирования слоя смешения. Исследованы решения уравнений движения в классе бегущих волн. Показано, что существует однопараметрическое семейство решений в виде уединенных волн, зависящее от числа Фруда. Для построения численных решений нестационарных уравнений движения реализован метод расщепления системы на эволюционную (гиперболическую) составляющую с дополнительным обращением эллиптического оператора на каждом шаге по времени. Кроме того, рассмотрен альтернативный подход, состоящий в аппроксимации эволюционных дисперсионных уравнений высокого порядка гиперболической системой уравнений первого порядка. Выполнены тестовые расчеты распространения уединенных внутренних волн.

Наиболее значимым приложением рассматриваемой модели является описание эволюции внутренних волн большой амплитуды первой моды. Сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными данными показывает применимость модели для описания опрокидывающихся уединенных волн.