

Отчёт о проделанной работе с использованием оборудования ИВЦ НГУ

1 Аннотация

Развитие ветрового волнения в большой степени обусловлено переносом энергии между различными масштабами, обусловленному нелинейным четырёхволновым взаимодействием. Проект нацелен на численное исследование этого переноса путем разработки нового алгоритма численного решения соответствующего уравнения (уравнения Хассельманна).

2 Тема работы

Исследование нелинейного переноса энергии в процессе развития поверхностного волнения на воде.

3 Состав коллектива

Захаров Владимир Евгеньевич, академик РАН

Геогджаев Владимир Владимирович, н.с. Института Океанологии им. П. П. Ширшова РАН, н.с. Новосибирского Государственного университета

Бадулин Сергей Ильич, г.н.с. Института Океанологии им. П. П. Ширшова РАН

4 Информация о гранте

Работа ведётся при поддержке гранта РФФИ No. 14-22-00174.

5 Содержание работы

Спектр волн на воде $N(\mathbf{k})$ (N — «число волн», \mathbf{k} — волновой вектор) подчиняется уравнению Хассельманна:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_{\mathbf{k}}}{\partial t} = & \pi g^2 \int_{\mathbf{k}_2, \mathbf{k}_3, \mathbf{k}_4} (T(\mathbf{k}, \mathbf{k}_2, \mathbf{k}_3, \mathbf{k}_4))^2 \times \\ & \times (NN_3N_4 + N_2N_3N_4 - NN_2N_3 - NN_2N_4) \times \\ & \times \delta(\omega + \omega_2 - \omega_3 - \omega_4) \delta(\mathbf{k} + \mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_3 - \mathbf{k}_4) d\mathbf{k}_2 d\mathbf{k}_3 d\mathbf{k}_4 \end{aligned}$$

Из этого уравнения видно, что взаимодействия происходят между четвёрками волн, удовлетворяющих резонансным соотношениям:

$$\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 = \mathbf{k}_3 + \mathbf{k}_4$$

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + \omega_4$$

Здесь $\omega = \sqrt{gk}$ — частота волны.

Таким образом, после устранения δ -функций интеграл в уравнении Хассельманна является 3-мерным. Спектр N , в свою очередь, имеет два измерения. В итоге расчёт развития волнения требует пятимерного интегрирования.

В. Геогджаевым разработан алгоритм решения уравнения Хассельманна базирующийся на инвариантности резонансных квадруплетов относительно поворотов и масштабирования. Это позволяет воспользоваться заранее заданной таблицей квадруплетов. На рис. 1 показана минимальная сетка квадруплетов, используемая алгоритмом. Алгоритм допускает параллельную обработку квадруплетов и, таким образом, хорошо поддаётся распараллеливанию.

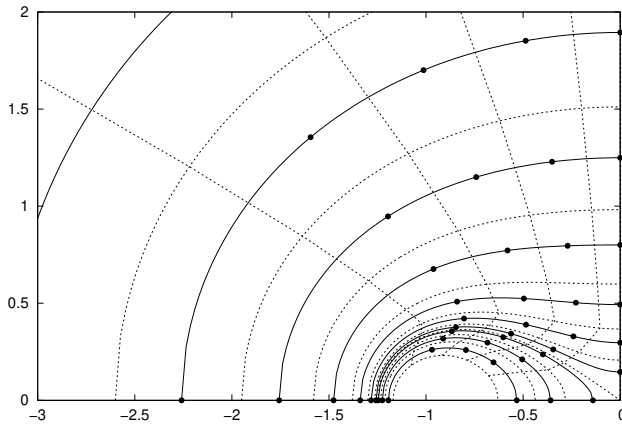


Рис. 1: Используемая сетка квадруплетов. Точки соответствуют парам векторов; квадруплет состоит из двух пар

5.1 Описание работы

Кластер использовался для работ по вычислению эволюции поверхностных волн на воде с помощью алгоритма В. Геогджаева.

В течение 2018 года на кластере выполнено несколько расчётов развития волнения в отсутствие ветровой накачки (т.е. зыбь). Пример результатов такого расчёта показан на рис. 2.

В дальнейшем планируется развитие алгоритма и использование его для расчётов ветрового волнения в ограниченном бассейне.

В настоящее время на кластере ведутся расчёты временной эволюции спектров, однородных в пространстве. В дальнейшем предполагается проводить расчеты развития волнения в ограниченном бассейне с использованием пространственной сетки имеющей, например, около 1000 узлов, для чего потребуется БОльшая вычислительная мощность.

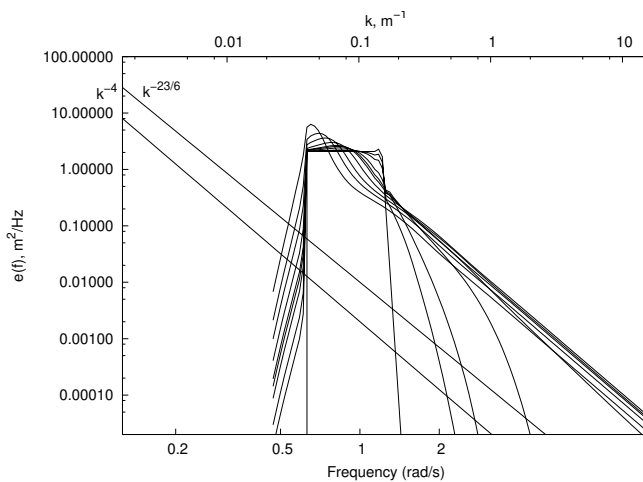


Рис. 2: Типичная эволюция спектра волнения. Начальные данные взяты в виде ступеньки. Показаны времена (в секундах): 0 250 600 1800 3000 4000 8000 18000 35000 90000

6 Публикации

Результаты вычислений на кластере использованы в публикации Vladimir E. Zakharov, Sergei I. Badulin, Vladimir V. Geogjaev, Andrey N. Pushkarev, Weak-Turbulent Theory of Wind-Driven Sea. AGU Earth and Space Science, представлено к публикации.

Планируются дальнейшие публикации.

7 Эффект от использования кластера в достижении целей работы

Использование кластера дало возможность быстро производить расчёты для различных начальных условий и использовать их результаты для оценки тенденций развития волнения. Также было выполнено несколько расчётов долговременного развития волнения на основании которых были построены графики его параметров.