

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). В рамках проекта выполнено исследование развитие волнения в отсутствие ветровой накачки.

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. 19-72-30028.

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, что приводит к необходимости большого количества вычислений.

5.1 Описание работы

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

В течение 2019 года исследовано развитие волнения в анизотропном случае в отсутствие внешней накачки (зыбь). Показано, что (в отличие от имевшихся ранее предположений), изотропизации волнения не происходит, наоборот, анизотропия возрастает со временем, хотя и медленно (то есть, изотропное решение неустойчиво по отношению к угловым возмущениям). Угловое распределение возникающее при начальном условии с малым угловым возмущением вида $1 + 0.02 \cos \theta$ показано на рис. 1. Видно, что начальная неоднородность усилилась.

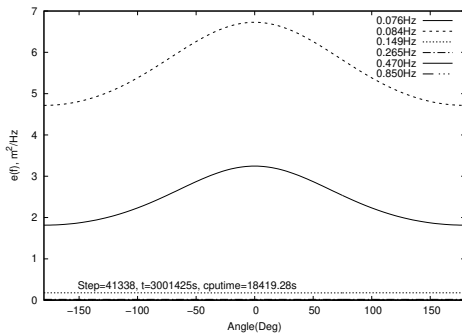


Рис. 1: Spectrum for $t = 3000000s$, angular cuts

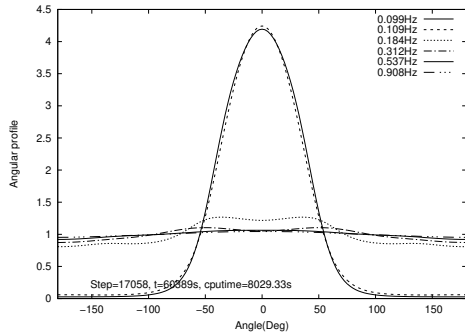


Рис. 2: Spectrum for $t = 60000$ s, normed angular distributions

Поскольку угловая неоднородность усиливается медленно, был сделан ещё один расчёт где в качестве начального условия было взято решение, уже имеющее выраженный пик по углу. В процессе развития волнения этот пик заострился, видно, что спектр концентрируется в области порядка $\pm 40^\circ$ к основному направлению волнения (рис. 2).

Расчитан автомодельный спектр волнения (рис. 3). Видно, что на средних частотах возникают два пика в распределении волн по углу, примерно в 30° от основного направления волнения.

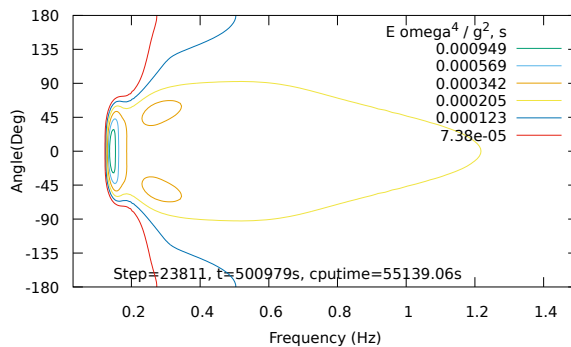


Рис. 3: Автомодельная форма спектра волнения

6 Публикации

Результаты вычислений на кластере использованы в публикациях.

Zakharov, V. E., Badulin, S. I., Geogjaev, V. V., Pushkarev, A. N. Weak-Turbulent Theory of Wind-Driven Sea // Earth and Space Science. 2019. 6. DOI:10.1029/2018EA000471

В.В.Геогджаев, В.Е.Захаров, С.И.Бадудин, Численное моделирование изотропной океанской зыби // ДАН, 2019, т. 489, No 5, стр. 74-78

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.