

изменяется по следующему закону:  $N = 200 \cdot U_{10}$ , где  $U_{10}$  - скорость ветра на высоте 10 м над уровнем моря ( $\lambda = 0,008$  м,  $N = 400 \cdot U_{10}$  и  $\lambda = 0,1$  м,  $N = 100 \cdot U_{10}$ ). При увеличении числа гармоник происходит улучшение качества моделируемой поверхности, но возрастает время счета. Поэтому, как и в случае с угловым распределением, здесь также было выбрано компромиссное решение. Критерием была выбрана близость корреляционных функций высот  $K_{\Sigma}(\rho)$  и наклонов  $K_{\Sigma\theta}(\rho)$ , вычисленных по исходному спектру  $S_{\Sigma}(\omega)$  и по реализации поверхности  $\Sigma(\vec{r}, t)$ :

$$K_{\Sigma}(\rho) = \int S_{\Sigma}(\kappa) \cos(\kappa\rho) d\kappa \quad (2)$$

$$K_{\Sigma}^M(\rho) = \sum_{n=1}^N \frac{A_n^2}{2} \cos(\kappa_n \rho) \quad (3)$$

$$K_{\Sigma\theta}(\rho) = \int \kappa^2 S_{\Sigma}(\kappa) \cos(\kappa\rho) d\kappa \quad (4)$$

$$K_{\Sigma\theta}^M(\rho) = \sum_{n=1}^N \frac{A_n^2 \kappa_n^2}{2} \cos(\kappa_n \rho) \quad (5)$$

При заданном выше способе определения числа гармоник  $N$  отличия составляют несколько процентов, и мы считаем эту погрешность допустимой.

На рис. 1 пунктиром показана зависимость корреляционной функции высот  $K_{\Sigma}(\rho)$  от числа гармоник (формула (3)) для трех значений: а -  $N = 50 \cdot U_{10}$ , б -  $N = 100 \cdot U_{10}$ , в -  $N = 200 \cdot U_{10}$ , в сравнении с точным значением (сплошная кривая), сосчитанным по формуле (2) для скорости ветра  $U_{10} = 5$  м/с, доминантной длины волны  $L_m = 23$  м и  $\lambda = 0,03$  м.

На рис. 2 - тоже самое, но для корреляционной функции наклонов  $K_{\Sigma\theta}(\rho)$ .

Помимо числа гармоник, большое значение имеет правильный выбор узлов. Это важно потому, что мы пытаемся ограничиться минимально возможным числом. На рис. 3, 4 приведены примеры корреляционных функций высот (Рис. 3) и наклонов (Рис. 4) при равномерном шаге и  $N = 1000$  ( $U_{10} = 5$  м/с,  $\lambda = 0,03$  м).

Правильный выбор способа разбиения с целью минимизации числа точек представляет собой отдельную интересную математическую задачу, которая выходит за рамки настоящей работы.

На рис. 5 приведены примеры реализации поверхности для скорости ветра  $U_{10} = 7 \text{ м/с}$  (а - разрез вдоль оси  $X$ , б - вдоль оси  $Y$ ) - высоты. Изменения наклонов поверхности по осям  $X$  и  $Y$  также изображены на рисунках в и г соответственно. Размер площадки  $400 \times 400 \text{ м}$  с шагом  $0,5 \text{ м}$ , волнение распространяется по оси  $X$ , доминантная длина волны  $L_m = 45 \text{ м}$ .

В результате счета программы информация (высоты, наклоны, орбитальные скорости) записывается в файл, который используется для изучения "видения" рассеивающей поверхности радиоальтиметром и радиолокатором бокового обзора. Отметим, что основное время уходит на счет подстилающей поверхности, а изображение формируется достаточно быстро. Поэтому с помощью программы сначала насчитываются различные состояния поверхности океана.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ

Состояние поверхностного слоя океана формируется под влиянием многочисленных факторов, например, скорости и направления ветра, направления распространения, высоты и длины волн зыби, длины ветрового разгона, наличия течений и т.п. Благодаря численному моделированию можно "реализовать" любое состояние и проверить работоспособность алгоритмов в разных условиях, а кроме того, появляется возможность поиска способов правильной идентификации различных типов волнения с помощью существующих или перспективных радиолокаторов. Далее путем сравнения с экспериментом проверяется заложенная в программу модель спектра волнения и адекватность наших представлений о процессе рассеяния.

Какие типы волнения мы будем моделировать? Прежде всего это полностью развитое ветровое волнение, характеристики которого зависят только от скорости ветра. Для описания развивающегося ветрового волнения необходимо дополнительно знать еще длину разгона (флуктуации скорости ветра во время разгона не учитываются).

Для описания зыби применим несколько упрощенный подход, рассматривая только пологую зыбь. Поэтому будет достаточно информа-