

Компьютерное моделирование отражения сигналов радиомаяков глобальных спутниковых навигационных систем от взволнованной поверхности моря.

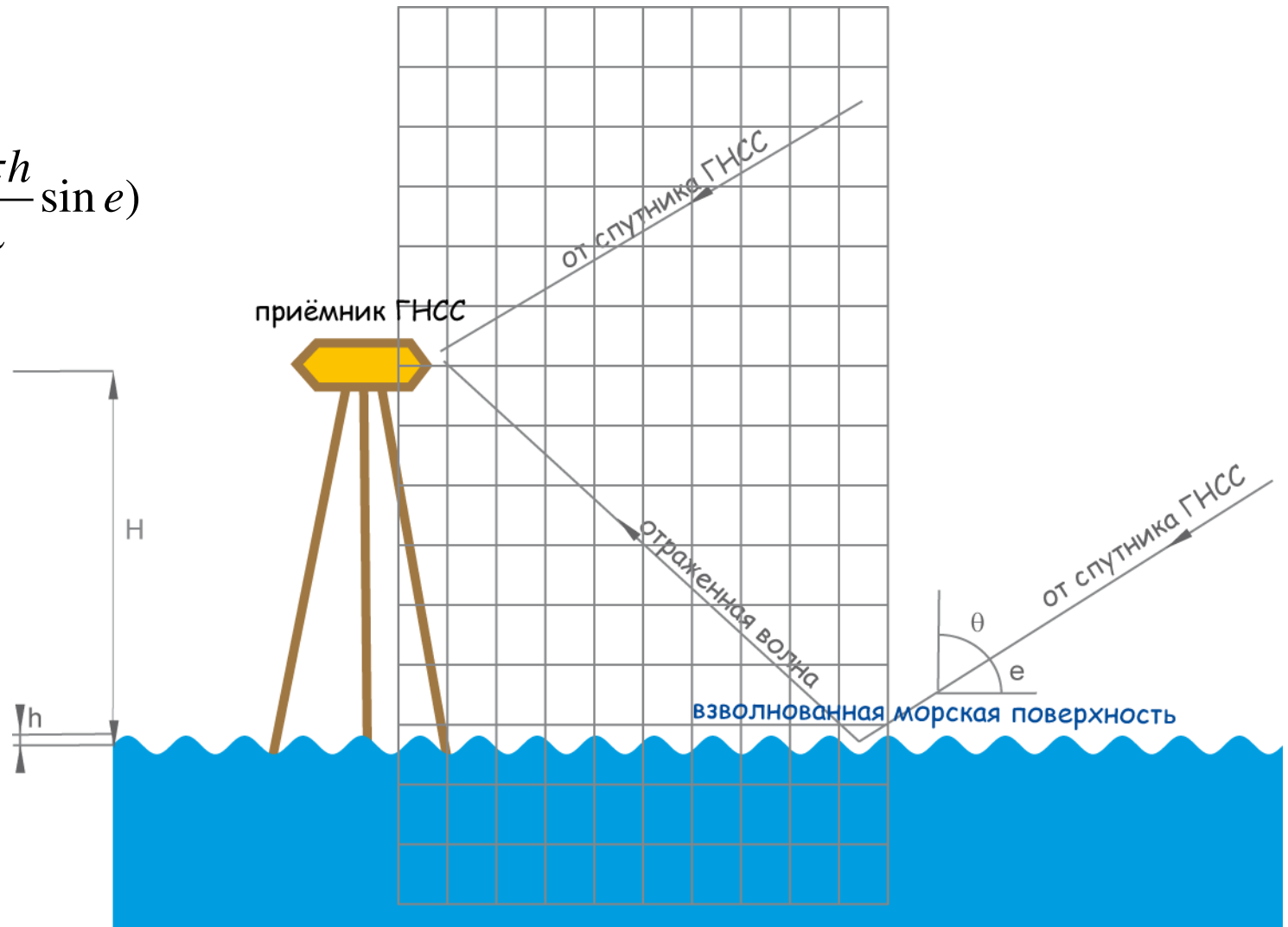
Илюшин Я.А., Падохин А.М.

**Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова**

**Девятнадцатая международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
ИЗ КОСМОСА (Физические основы, методы и
технологии мониторинга окружающей среды,
потенциально опасных явлений и объектов)»**

Схема метода интерференционной рефлектومتрии уровня моря

$$I = \cos\left(\frac{4\pi h}{\lambda} \sin e\right)$$



Метод FDTD (Finite Difference Time Domain)

$$-\frac{\partial B_z}{\partial t} = \frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x},$$

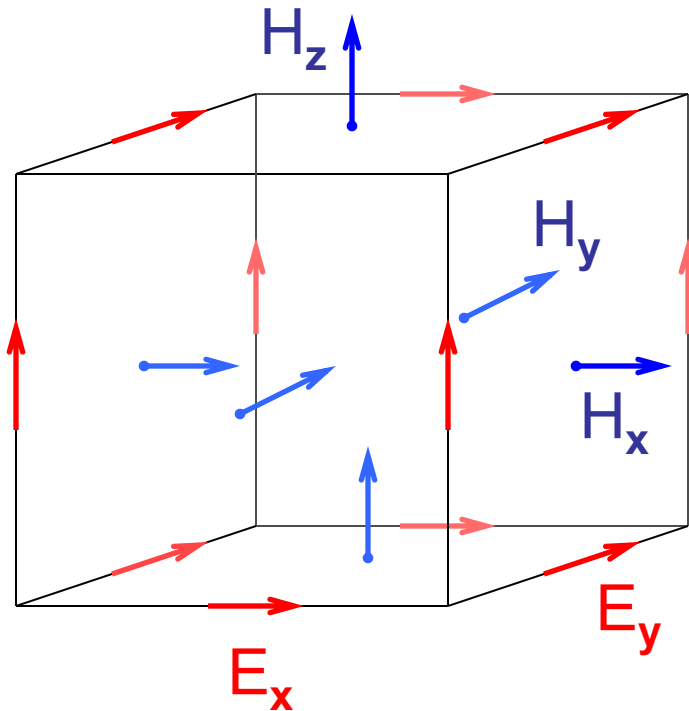
$$-\frac{\partial B_y}{\partial t} = \frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z},$$

$$\frac{\partial B_x}{\partial t} = \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z},$$

$$\frac{\partial D_x}{\partial t} = \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} - J_x,$$

$$\frac{\partial D_y}{\partial t} = \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} - J_y,$$

$$\frac{\partial D_z}{\partial t} = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} - J_z,$$



Kane Yee, 1966. "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, AP-4: 302–307.

Метод FDTD (Finite Difference Time Domain)

$$E_x^{n+1}(i + \frac{1}{2}, j) = E_x^n(i + \frac{1}{2}, j)$$

$$+ Z \frac{\Delta\tau}{\Delta y} [H_z^{n+1/2}(i + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2}) - H_z^{n+1/2}(i + \frac{1}{2}, j - \frac{1}{2})]$$

$$E_y^{n+1}(i, j + \frac{1}{2}) = -Z \frac{\Delta\tau}{\Delta x} [H_z^{n+1/2}(i + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2}) - H_z^{n+1/2}(i - \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2})]$$

$$E_z^{n+1}(i, j) = E_z^n(i, j)$$

$$+ Z \frac{\Delta\tau}{\Delta x} [H_y^{n+1/2}(i + \frac{1}{2}, j) - H_y^{n+1/2}(i - \frac{1}{2}, j)]$$

$$- Z \frac{\Delta\tau}{\Delta y} [H_x^{n+1/2}(i, j + \frac{1}{2}) - H_x^{n+1/2}(i, j - \frac{1}{2})]$$

$$H_x^{n+1/2}(i + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2}) = H_x^{n-1/2}(i + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2})$$

$$- \frac{1}{Z} \frac{\Delta\tau}{\Delta x} [E_y^n(i + 1, j + \frac{1}{2}) - E_y^n(i, j + \frac{1}{2})]$$

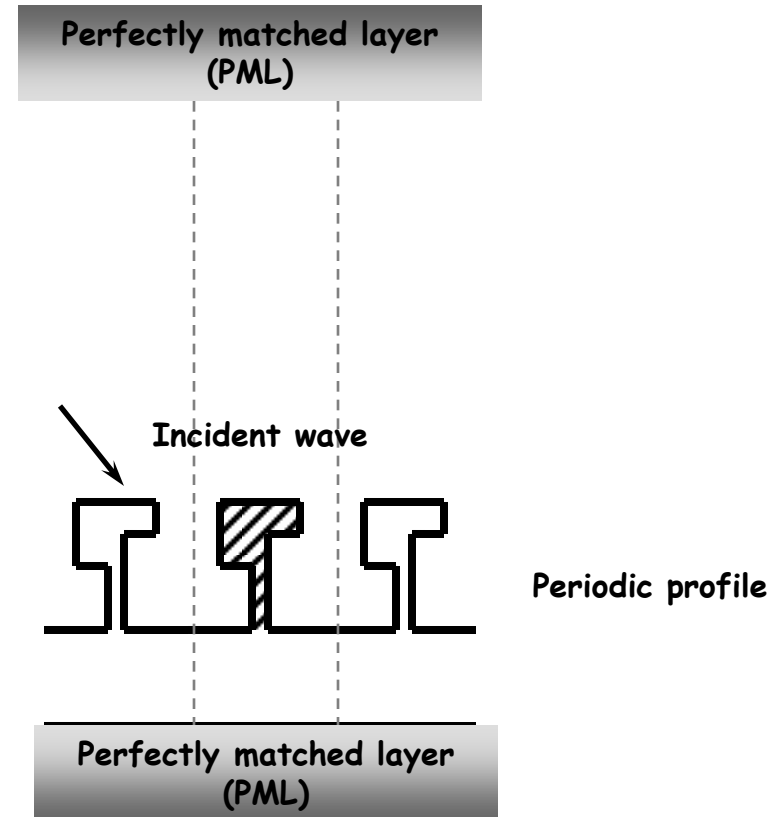
$$+ \frac{1}{Z} \frac{\Delta\tau}{\Delta y} [E_x^n(i + \frac{1}{2}, j + 1) - E_x^n(i + \frac{1}{2}, j)]$$

$$H_z^{n+1/2}(i, j + \frac{1}{2}) = H_z^{n-1/2}(i, j + \frac{1}{2})$$

$$- \frac{1}{Z} \frac{\Delta\tau}{\Delta y} [E_x^n(i, j + 1) - E_x^n(i, j)]$$

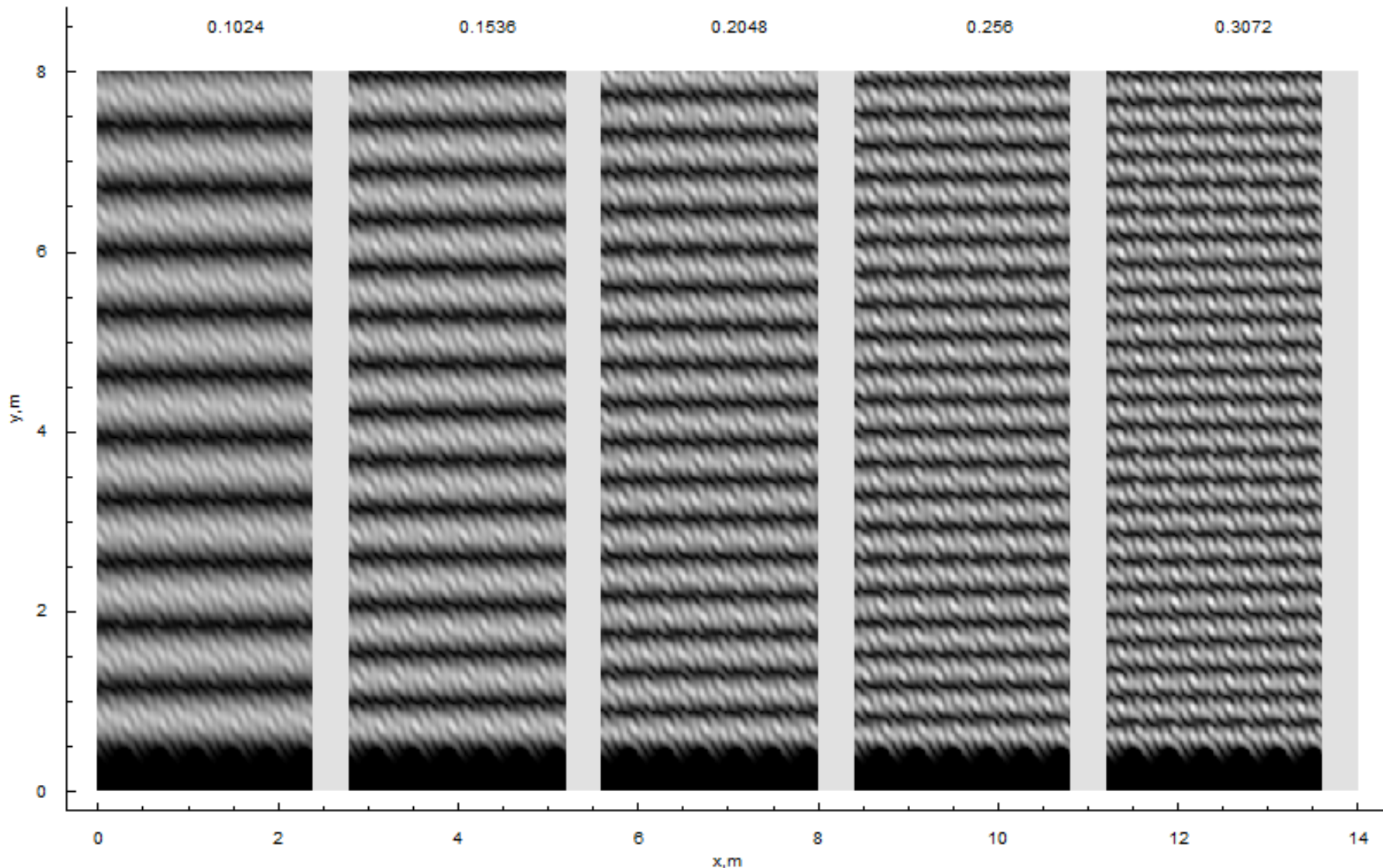
$$H_y^{n+1/2}(i + \frac{1}{2}, j) = H_y^{n-1/2}(i + \frac{1}{2}, j)$$

$$+ \frac{1}{Z} \frac{\Delta\tau}{\Delta x} [E_z^n(i + 1, j) - E_z^n(i, j)].$$



Интерференционная картина

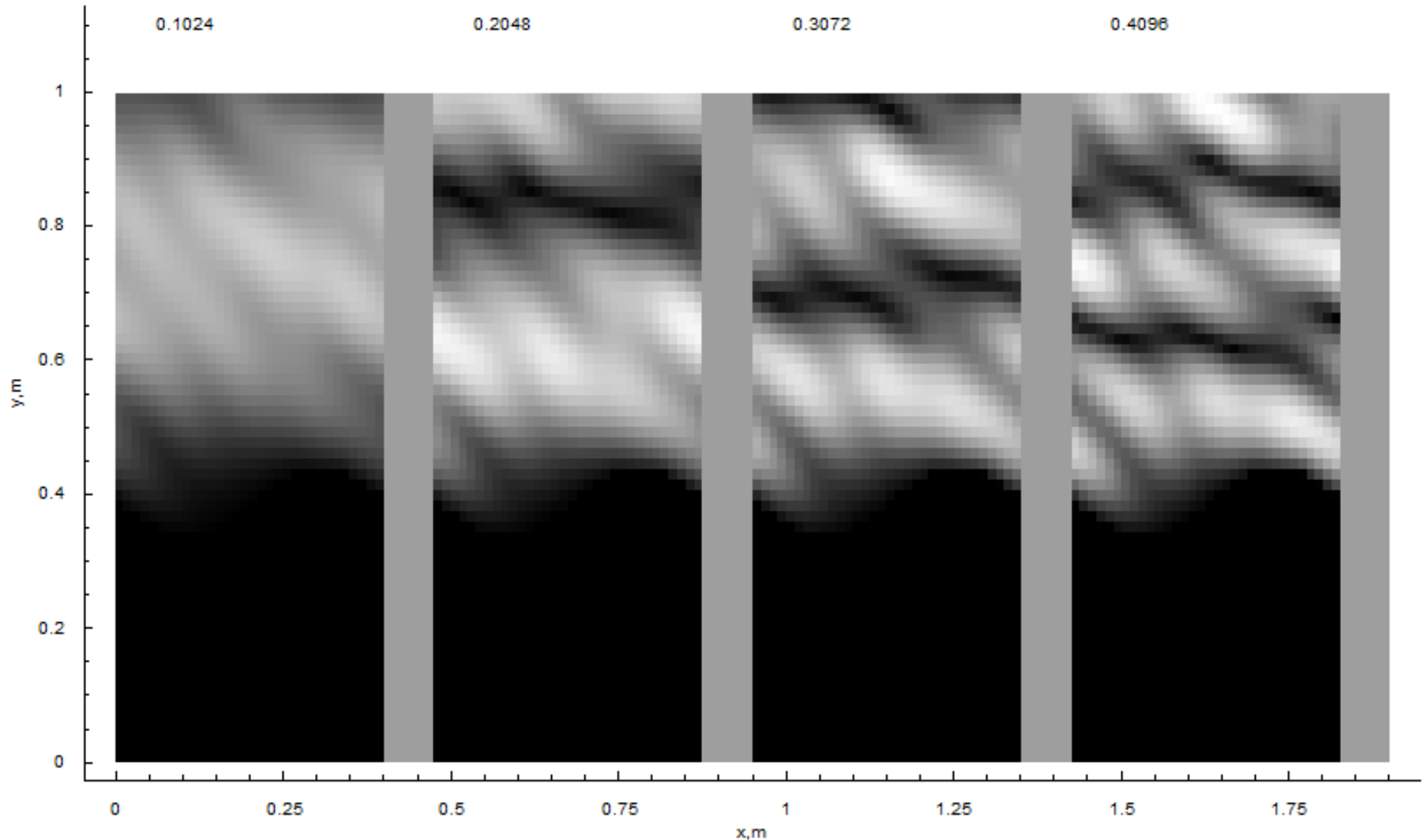
dimx32dimy1024Xsize400Ysize16000cos3072WH100WD400



Период волнения 0.4 м, высота волнения 0.1 м, значения $\cos\theta$ указаны числами вверху

Интерференционная картина (зона затенения)

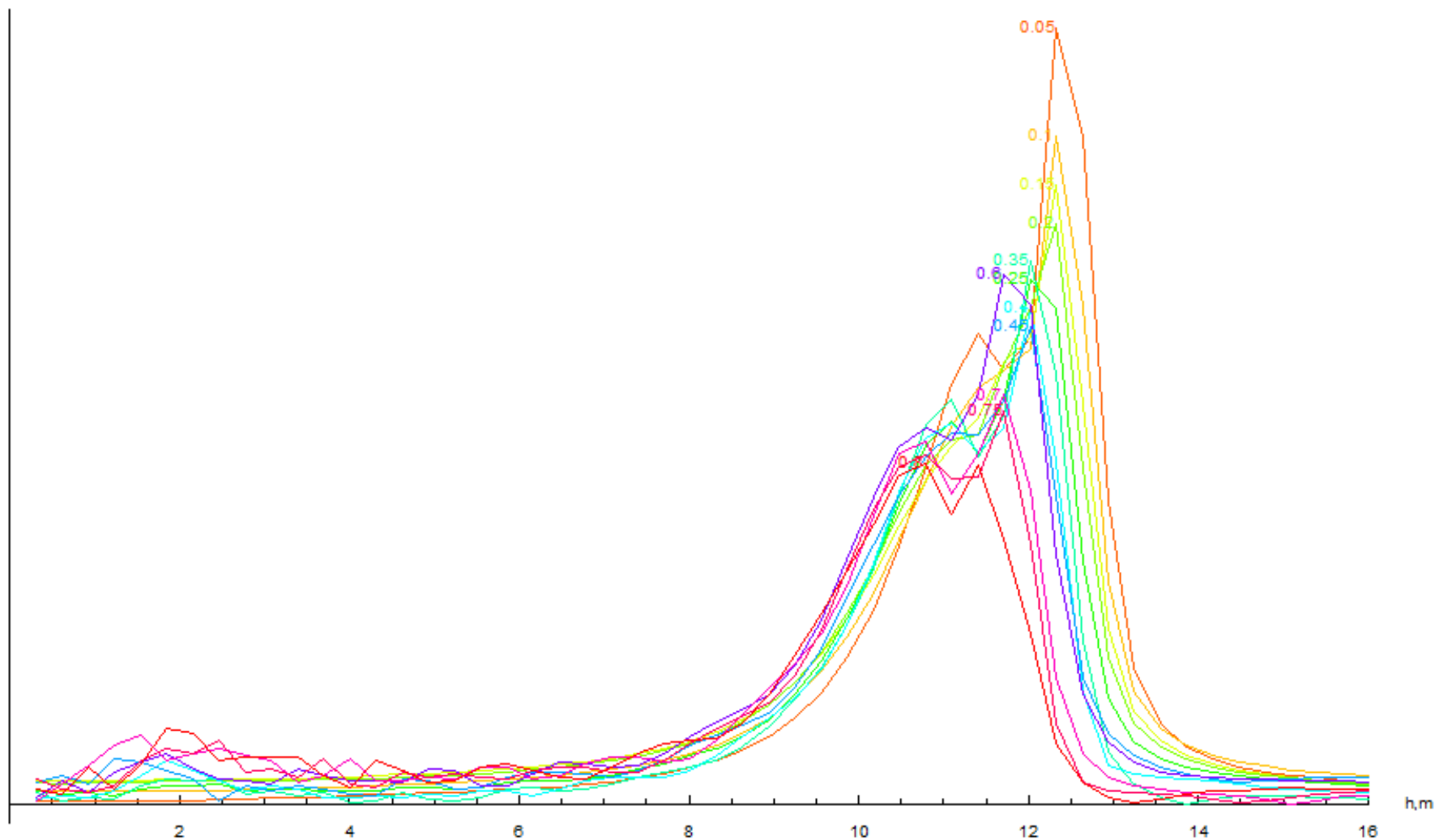
dimx32dimy1024Xsize400Ysize16000cos4096WH50WD400



Плоская морская поверхность, значения $\cos\theta$ указаны числами вверху

Высотные спектры интерференционных картин (по параметру $\cos \theta$)

50



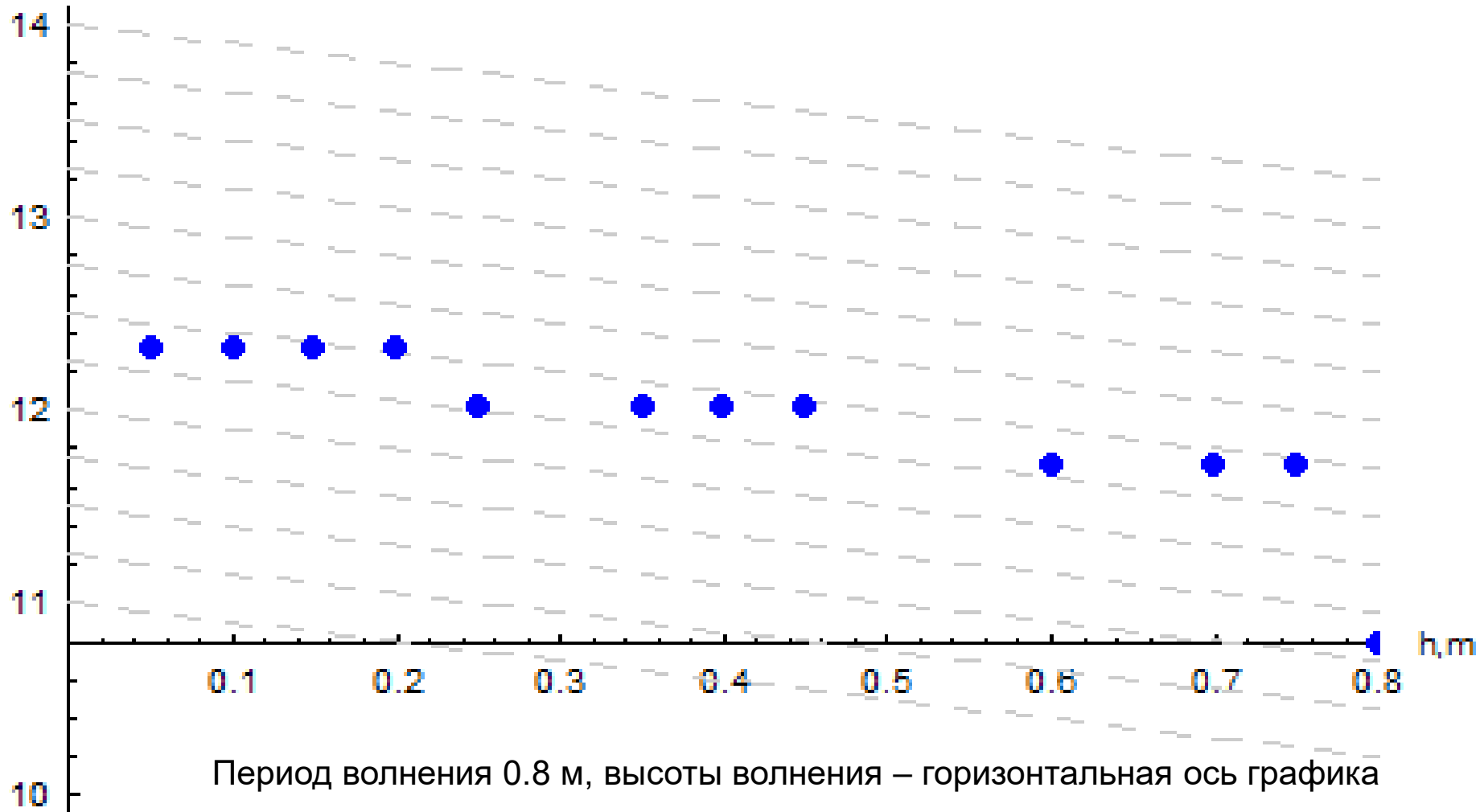
Период волнения 0.8 м, высоты волнения указаны цифрами при кривых

Смещение оценки высоты приемника

в результате ветрового волнения морской поверхности

H, m

d:\FDTD\08112018-FDTD(reflectometry)\testSKIF4



Заключение и выводы

В работе проведено исследование влияния ветрового волнения на точность определения высоты размещения приемной антенны станции интерференционного мониторинга уровня моря. Отражение сигналов радиомаяков глобальных навигационных спутниковых систем от взволнованной морской поверхности исследовано путем численного моделирования методом FDTD. Исследован эффект частичного затенения профиля морского волнения.

Исследованы интерференционные картины поля радиомаяков глобальных спутниковых радионавигационных систем над взволнованной поверхностью моря. По результатам расчетов построены высотные спектры интерференционных картин, максимумы которых соответствуют оцениваемой высоте антенны над уровнем моря.

Оценена систематическая ошибка определения уровня морской поверхности, связанная с присутствием ветрового волнения на поверхности моря.

Показано, что вызываемая ветровым волнением ошибка оценки уровня практически равна высоте ветрового волнения в пределах ограниченной разрешающей способности метода.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова

Спасибо за внимание!

