

УДК 621.396.96

*Маляров М.В., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ МОРСКОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ С УЧЕТОМ ЕЕ ФРАКТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ  
ПРИ МОНИТОРИНГЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

(представлено д-ром техн. наук Туркиным И.Б.)

Предложено дополнить фацетную модель оптического сигнала, отраженного от морской поверхности, данными про фрактальную размерность. Для этого профиль морской поверхности и распределение интенсивности отраженного сигнала моделируются с учетом фрактальной структуры.

**Ключевые слова:** фрактальная размерность, отраженный сигнал распределение интенсивность, морская поверхность, фацетная модель

**Постановка проблемы.** При автоматическом поиске объектов на морской поверхности в качестве критерия обнаружения предлагается воспользоваться изменением фрактальной размерности [1]. В этом случае, при появлении объекта, образуется некая зона неоднородности морской поверхности, фрактальная размерность при этом изменяется, что делает возможным обнаружение зон неоднородностей на изображениях морской поверхности.

Так как мониторинг морской поверхности проводится в оптическом (видимом) диапазоне волн, то для разработки обнаружителя и оценки его показателей качества необходимо смоделировать эталонное распределение интенсивности от-

---

Маляров М.В.

раженного солнечного света от морской поверхности. При этом необходимо чтобы данное распределение учитывало фрактальную составляющую. Предложенное в работе распределение интенсивности позволит более точно изучить фрактальные свойства морской поверхности в зависимости от погодных условий и проанализировать работу обнаружителя на смоделированных изображениях.

#### Анализ последних исследований и публикаций.

Отражение электромагнитного излучения видимого диапазона происходит по законам геометрической оптики, если для поверхности-отражателя соблюдается соотношение:  $a \sin^3(\beta) / \lambda \gg 1$ , где  $a$  – характерный размер неоднородностей,  $\beta$  – угол скольжения. В этом случае поверхность можно считать гладкой, а отражение от каждой элементарной площадки (фацета) зеркальной с коэффициентами отражения  $K_{\parallel}$  и  $K_{\perp}$  для составляющих световой волны с интенсивностями  $I_{\parallel}$  и  $I_{\perp}$  соответственно параллельно и перпендикулярно плоскости падения световой волны [2].

Суммарная интенсивность отраженного оптического потока от фацета равна

$$I_{\text{отр}} = K_{\parallel} I_{\parallel} + K_{\perp} I_{\perp}, \quad (1)$$

а если падающий оптический поток с интенсивностью  $I$  не поляризован, то

$$I_{\text{отр}} = 1/2(K_{\parallel} + K_{\perp})I = K_{\text{отр}}I, \quad (2)$$

где  $K_{\text{отр}}$  – коэффициент отражения неполяризованного излучения.

Однако с появлением массивов фоточувствительных приборов с зарядовой связью и существенным ростом разрешения аппаратуры, возникла необходимость формирования отраженного оптического сигнала с учетом его тонкой структуры. В [3] задача решается следующим образом. Задана реализация поверхности в явной  $Z = \xi(x, y, t)$  или в неявной  $F(x, y, z) = 0$  форме в момент времени  $t$ . Необходимо найти пространственный или пространственно-временной оптиче-

ский сигнал от нее  $I_{omp}(\Theta, \alpha, t)$ , где  $\Theta, \alpha$  – направления визирования фоточувствительного элемента.

Разработанная в [3] модель отраженного прямого солнечного излучения от волновой поверхности моря позволяет найти интенсивность отраженного оптического сигнала в любой момент времени от любой точки поверхности моря в пространстве объектива на входе оптической системы.

В качестве локальных параметров, которые описывают фазу (состояние) каждого отдельного facetsa поверхности моря в [3] предлагается использовать координаты проекции единичного вектора нормали до поверхности

$$\bar{N}(x, y, z) = \frac{\text{grad}(F(x, y, z))}{|\text{grad}(F(x, y, z))|} \quad (3)$$

на плоскость, перпендикулярную характерному направлению.

Для базовой системы координат, которая имеет характерное направление — единичный вектор местной вертикали до геоида  $\bar{e}_M$  эти параметры называют фазовыми координатами facetsa

$$\bar{n}_M(x, y, z) = \bar{e}_M \times \bar{N}(x, y, z) \times \bar{e}_M, \quad (4)$$

составляющие вектора которого соответственно равны

$$n_{Mx} = \frac{\frac{\partial F}{\partial x} \text{sign}\left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)}{\sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2}} \quad (5)$$

$$n_{My} = \frac{\frac{\partial F}{\partial y} \text{sign}\left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)}{\sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2}} \quad (6)$$

$$n_{Mz} = \sqrt{1 - n_{Mx}^2 - n_{My}^2} \quad (7)$$

Для визируемой системы координат, которая имеет характерное направление – единичный вектор направления  $\bar{e}_v$  визирирования каждого фоточувствительного элемента эти координаты называют визируемыми фазовыми координатами фацета

$$\bar{n}(x, y, t) = \bar{e}_v \times \bar{N}(x, y, z) \times \bar{e}_v \quad (8)$$

В качестве математической модели изменений в пространстве и времени вектора нормали до фацета в [3] поверхность моря представлена пространственно временной совокупностью фазовых траекторий фацетов, где фазовая траектория фацета функция зависимости фазовых координат от расстояния вдоль координатной линии базовой системы координат в заданный момент времени.

В [4] получены с учетом закона преломления Снеллиуса выражения коэффициентов отражения Френеля для каждого фацета с координатами  $\bar{n}(x, y, t)$  через показатель преломления вещества  $m$

$$K_{\parallel} = \left| \frac{\sqrt{m^2 - n^2} - \sqrt{1 - n^2}}{\sqrt{m^2 - n^2} + \sqrt{1 - n^2}} \right|^2 \quad (9)$$

$$K_{\perp} = \left| \frac{\sqrt{m^2 - n^2} \sqrt{1 - n^2} - n^2}{\sqrt{m^2 - n^2} \sqrt{1 - n^2} + n^2} \right|^2 K_{\parallel} \quad (10)$$

где  $n = \sqrt{n_{Mx}^2 + n_{My}^2}$ .

Для неполяризованного света суммарный коэффициент преломления на основе (2) путем суммирования (9) и (10) примет вид

$$\begin{aligned} K_{\text{отр}} &= 1/2(K_{\parallel} + K_{\perp}) = \\ &= \left| \frac{\sqrt{m^2 - n^2} - \sqrt{1 - n^2}}{\sqrt{m^2 - n^2} + \sqrt{1 - n^2}} \right|^2 \frac{(m^2 - n^2)(1 - n^2) + n^4}{(\sqrt{m^2 - n^2} \sqrt{1 - n^2} + n^2)^2} \end{aligned} \quad (11)$$

Тогда для моделирования отраженного оптического сигнала необходимо иметь линию, образованную пересечением поверхности отражателя  $F(x, y, z)$  и плоскостью множества  $\Theta, \alpha$  – направлений визирования фоточувствительных элементов. Для каждой точки линии пересечения по (5) и (6) находятся фазовые координаты. Их множество представляет собой случайную фазовую траекторию. Приращение зафиксированного параметра приводит к следующей фазовой траектории и т.д., что в итоге дает всю совокупность. Затем по (11) находят значение коэффициента отражения, а по (2) – интенсивность отраженного оптического сигнала.

Таким образом, для моделирования пространственно-временной структуры оптического сигнала отраженного от морской поверхности необходимо найти профиль морской поверхности  $Z = \xi(x, y, t)$  в текущий момент времени и затем на его основе рассчитать распределение интенсивности отраженного сигнала.

Моделирование профиля морской поверхности с учетом амплитуды волн  $A$ , среднеквадратической высоты волн  $\sigma$  и коэффициента  $b$  приведено в [5]. Дополнение профиля морской поверхности с учетом информации о фрактальной размерности  $D_f$ , приведено в [6]. Таким образом, профиль морской волны является суммированием всех профилей полученных путем скольжения профиля морской волны вдоль оси  $Oy$  под неким углом  $\Theta$  в виде

$$z(x, y) = \frac{1}{n} \sum_n z(x, y | b_i, D_f, A_i, \sigma, \Theta_i) \quad (12)$$

**Постановка задачи и ее решение.** Целью статьи является моделирование распределения интенсивности отраженного оптического сигнала от морской поверхности с учетом фрактальных свойств последней.

Так как каждое сечение морской поверхности состоит из макро- и микроструктуры, то результирующий профиль можно представить в виде

$$z(x, y) = \sum_n z_\sigma(x, y | A_0, \sigma) + \sum_n z_\xi(x, y | D_f, b) \quad (13)$$

или при задании морской поверхности в неявном виде

$$F(x, y, z) = \sum_n (F_\Sigma(x, y, z | A_0, \sigma) + F_\xi(x, y, z | b, D_f)). \quad (14)$$

Первое слагаемое  $F_\Sigma(x, y, z | A_0, \sigma)$  описывает геометрический профиль морской поверхности создаваемый макроповерхностью и зависящий только от внешних условий. Второе слагаемое  $F_\xi(x, y, z | D_f, b)$  описывает геометрический профиль создаваемый микроповерхностью и зависящий только от фрактальных свойств морской поверхности.

Профиль макроповерхности морской волны получен на основе [4,5], которые берут за основу модель морского волнения Пирсона

$$z_\Sigma(x, y) = \sum_n A \cos(k(x \cos \Theta + y \sin \Theta) - wt + \phi), \quad (15)$$

где  $k$  – волновое число,  $\Theta$  – направление распространения волны,  $\phi$  – начальная фаза.

Рассеивание оптических волн на морской поверхности на основе выражений (5-7, 11) предусматривает расчет нормали к профилю морской поверхности для каждого светочувствительного элемента. На основе выражения (5,6) и принимая во внимание, что морская поверхность представлена суммой двух профилей (14), получим значение нормали к морской поверхности в виде

$$n^2 = \frac{\left(\frac{\partial F_\Sigma}{\partial x} + \frac{\partial F_\xi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_\Sigma}{\partial y} + \frac{\partial F_\xi}{\partial y}\right)^2}{\left(\frac{\partial F_{\Sigma+\xi}}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_{\Sigma+\xi}}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_{\Sigma+\xi}}{\partial z}\right)^2}. \quad (16)$$

Раскрывая в числителе скобки и группируя сходные элементы, получим значение нормали в виде

$$n^2 = n_\Sigma^2 + n_\xi^2 + n_{\Sigma\xi}, \quad (17)$$

где

$$n_{\Sigma}^2 = \frac{\left(\frac{\partial F_{\Sigma}(x, y, z | A_0, \sigma)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_{\Sigma}(x, y, z | A_0, \sigma)}{\partial y}\right)^2}{\left(\frac{\partial F_{\Sigma+\xi}}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_{\Sigma+\xi}}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_{\Sigma+\xi}}{\partial z}\right)^2}, \quad (17a)$$

$$n_{\xi}^2 = \frac{\left(\frac{\partial F_{\xi}(x, y, z | D_f, b)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_{\xi}(x, y, z | D_f, b)}{\partial y}\right)^2}{\left(\frac{\partial F_{\Sigma+\xi}}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_{\Sigma+\xi}}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_{\Sigma+\xi}}{\partial z}\right)^2}, \quad (17б)$$

$$n_{\Sigma\xi} = \frac{2\left(\frac{\partial F_{\Sigma}}{\partial x}\right)^2\left(\frac{\partial F_{\xi}}{\partial x}\right)^2 + 2\left(\frac{\partial F_{\Sigma}}{\partial y}\right)^2\left(\frac{\partial F_{\xi}}{\partial y}\right)^2}{\left(\frac{\partial F_{\Sigma+\xi}}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_{\Sigma+\xi}}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_{\Sigma+\xi}}{\partial z}\right)^2}. \quad (17в)$$

Выражение (17а) описывает нормаль к макроповерхности и зависит только от внешних природных условий. Выражение (17б) описывает нормаль к микроповерхности и зависит от фрактальных свойств морской поверхности, а выражение (17в) описывает взаимное влияние микроструктуры на макроструктуру.

Таким образом, подставляя значение (17) в выражение (11) получим распределение интенсивности оптического сигнала отраженного от морской поверхности.

$$I_{omp} = \frac{\left|\sqrt{m^2 - (n_{\Sigma}^2 + n_{\xi}^2 + n_{\Sigma\xi}^2)} - \sqrt{1 - (n_{\Sigma}^2 + n_{\xi}^2 + n_{\Sigma\xi}^2)}\right|^2}{\left|\sqrt{m^2 - (n_{\Sigma}^2 + n_{\xi}^2 + n_{\Sigma\xi}^2)} + \sqrt{1 - (n_{\Sigma}^2 + n_{\xi}^2 + n_{\Sigma\xi}^2)}\right|^2} I \times \quad (18)$$

$$\times \frac{\left(m^2 - (n_{\Sigma}^2 + n_{\xi}^2 + n_{\Sigma\xi}^2)\right)\left(1 - (n_{\Sigma}^2 + n_{\xi}^2 + n_{\Sigma\xi}^2)\right) + (n_{\Sigma}^2 + n_{\xi}^2 + n_{\Sigma\xi}^2)^2}{\left(\sqrt{m^2 - (n_{\Sigma}^2 + n_{\xi}^2 + n_{\Sigma\xi}^2)}\sqrt{1 - (n_{\Sigma}^2 + n_{\xi}^2 + n_{\Sigma\xi}^2)} + (n_{\Sigma}^2 + n_{\xi}^2 + n_{\Sigma\xi}^2)\right)^2}$$

Так как для обнаружения используется изменение фрактальной размерности, то рассмотрим основные свойства изо-

браження морської поверхності в оптичному діапазоні волн с позиції змінення фрактальної розмірності:  $D_f(t) \sim f(I_{omp}(x, y, t))$ .

Розподілення інтенсивності сигналу відраженого від морської поверхності  $I_{omp}(x, y, t)$  має дробну розмірність, що в цілому підтверджує наявність фрактальних властивостей морської поверхності.

**Висновки.** Таким чином, отримане зображення морської поверхності в оптичному діапазоні довжини хвилі доповнено даними про фрактальні властивості морської поверхності, що дозволить враховувати їх при моделюванні і створювати «еталонні» зображення з заданими фрактальними характеристиками.

Значення фрактальної розмірності для однотипних поверхностей розподілені за нормальним законом з середнь-квадратичним відхиленням в межах (3-4)% від середнього значення фрактальної розмірності  $D_f \approx 2,66$ , що підтверджує фрактальні властивості морських поверхностей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Малярів М.В. Алгоритм пошуку малорозмірних об'єктів на морській поверхні з використанням її фрактальних властивостей // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2008. – Вип. 8. – С. 124-129.
2. Москвитин С.В. Теоретичні основи оптичної локації: Конспект лекцій. – Харків: ВІРТА, 1992.
3. Копылов А.А. Моделювання і обробка оптичного сигналу // Збірник наукових праць ХВУ. -1995. – Вип 2, С. 16-21.
4. Копылов А.А. О можливості дистанційного вимірювання показателя заломлення поверхності моря по сонячним блискавкам. // Збірник наукових праць ХВУ. –1998. -Вип 1(9), С. 62-70.
5. Лобкова Л.М. Розповсюдження радіоволн над морською поверхністю / Лобкова Л.М. –М: Радіо і зв'язь, 1991. – 256 с.
6. Малярів М.В. Моделювання профілю морської поверхності з урахуванням її фрактальних властивостей / Малярів



М.В., Неронов А.А. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2009. – Вип. 9. – С.66-72

Маляров М.В

**Моделювання зображення морської поверхні з урахуванням її фрактальних властивостей при моніторингу надзвичайних ситуацій**

Запропоновано доповнити фацетну модель оптичного сигналу, відбитого від морської поверхні, даними про фрактальну розмірність. Для цього профіль морської поверхні і розподіл інтенсивності відбитого сигналу моделюються з урахуванням фрактальної структури.

**Ключові слова:** фрактальна розмірність, відбитий сигнал розподілення інтенсивності, морська поверхня, фацетна модель

Malyarov M.

**Modeling of picture sea surface based its fractal properties in the monitoring of emergency**

Proposed to add the facet model of the optical signal reflected from the sea surface, the values of the fractal dimension. This profile of the sea surface and the intensity distribution of the reflected signal with the simulated fractal structure.

**Key words:** fractal dimension, the distribution of the intensity of the reflected signal, the sea surface, faceted model

**УДК 502.5:504.062**

*Михальська Л.Л., канд. техн. наук, директор, ХНЦВЕ,  
Прохач Е.Ю., д-р техн. наук, заст. директора, ХНЦВЕ,  
Попов Н.П., канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
науково-дослідний центр "Моніторинг-43"*

## **ГЕПТИЛ В ҐРУНТІ**

Надано аналіз літературних даних та результати особистих досліджень щодо трансформації гептилу в ґрунті, стабільності гептилу в ґрунті з часом, глибини проникнення гептилу в ґрунт в залежності від типу ґрунту

**Ключові слова:** ґрунт, гептил, міграція, трансформація

**Постановка проблеми.** Ракетне пальне гептил (1,1-диметилгідразин, несиметричний диметилгідразин, НДМГ) є речовиною першого класу небезпеки, має канцерогенну, емб-

*Михальська Л.Л., Прохач Е.Ю., Попов Н.П.*