

УДК 621.396.96

К.Н. НЕЖАЛЬСКАЯ, И.А. ЯКУЩЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

### ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ, ОПИСЫВАЕМОЙ ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДЕЛЬЮ ОХА

Представлены исследования удельной эффективной поверхности рассеяния средой, описываемой моделью Оха, полученной в результате экспериментальных исследований. Проанализированы предельные погрешности многопараметрических оценок состояния такой среды при различных исходных условиях, сформулированы условия, обеспечивающие наименьшие погрешности.

эмпирическая модель, яркостная температура, коэффициенты Френеля, потенциальная точность

#### Введение

Наиболее сложным и ответственным этапом при решении задач оценивания параметров различных поверхностей является выбор модели, описывающей ту или иную реальную поверхность. Эти модели дают информацию о связи регистрируемых амплитуд или мощностей сигналов с электрофизическими параметрами и статистическими характеристиками природных сред. Использование электродинамических моделей поверхностей позволяет обеспечить достоверность исследований, однако предполагает некоторую идеализацию реальной земной поверхности. Недостатков электродинамических моделей можно избежать при использовании эмпирических моделей, основанных на экспериментальных результатах. В работе представлены исследования применимости эмпирической модели Оха для решения задач оценок параметров поверхностей, а также анализ потенциальных точностей таких оценок.

#### Эмпирическая модель Оха

Рассмотрим эмпирическую модель Оха, предложенную в [1, 2]. В основе этой модели лежат данные радиолокационных измерений обратного рассеяния и сведения о характере рассеяния в предельных случаях (когда параметр, характеризующий высоту не-

ровностей  $k \cdot \sigma_h$ , очень большой). Здесь  $\sigma_h$  – среднеквадратическая высота неровностей,  $k$  – волновое число. Предложенная модель работает при таких условиях: характеристики неровностей  $0,1 < k \cdot \sigma_h < 6,0$ ,  $2,6 < k \cdot \ell < 19,7$  ( $\ell$  – радиус корреляции неровностей); влагосодержание  $0,09 < m < 0,31$ . Выражения для удельных ЭПР на вертикальной, горизонтальной и перекрестной поляризации для этой модели имеют вид [1, 2]:

$$\sigma_{BB}^0 = \frac{g}{\sqrt{p}} \cdot \cos^3 \theta \cdot (\Gamma_B(\theta) + \Gamma_\Gamma(\theta)), \quad (1)$$

$$\sigma_{\Gamma\Gamma}^0 = g \cdot \sqrt{p} \cdot \cos^3 \theta \cdot (\Gamma_B(\theta) + \Gamma_\Gamma(\theta)), \quad (2)$$

$$\sigma_{\Gamma B}^0 = q \cdot \sigma_{BB}^0, \quad (3)$$

где  $\Gamma_B(\theta), \Gamma_\Gamma(\theta)$  – коэффициенты Френеля на вертикальной и горизонтальной поляризации;

$$g = 0,7 \cdot \left(1 - \exp\left(-0,65 \cdot (k \cdot \sigma_h)^{1,8}\right)\right),$$

$$p = \frac{\sigma_{\Gamma\Gamma}^0}{\sigma_{BB}^0}, \quad q = \frac{\sigma_{\Gamma B}^0}{\sigma_{BB}^0},$$

$$p = \left[1 - \left(\frac{2\theta}{\pi}\right)^{1/3} \Gamma_0 \cdot \exp(-k \cdot \sigma_h)\right]^2,$$

$$q = 0,23 \cdot \sqrt{\Gamma_0} \cdot (1 - \exp(-k \cdot \sigma_h)),$$

$$\Gamma_0(0) = \left| \frac{\sqrt{\epsilon} - 1}{\sqrt{\epsilon} + 1} \right|^2,$$

где  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость поверхности;

$\theta$  – угол падения.

На рис. 1, 2, 3 показаны зависимости удельных ЭПР модели Оха (выражения (1) – (3)) на вертикальной, горизонтальной и перекрестной поляризации от угла визирования для нескольких значений диэлектрической проницаемости  $\sigma_{vv}(\theta, \epsilon)$ ,  $\sigma_{hh}(\theta, \epsilon)$ ,  $\sigma_{hv}(\theta, \epsilon)$ ,  $k \cdot \sigma_h = 2$ .

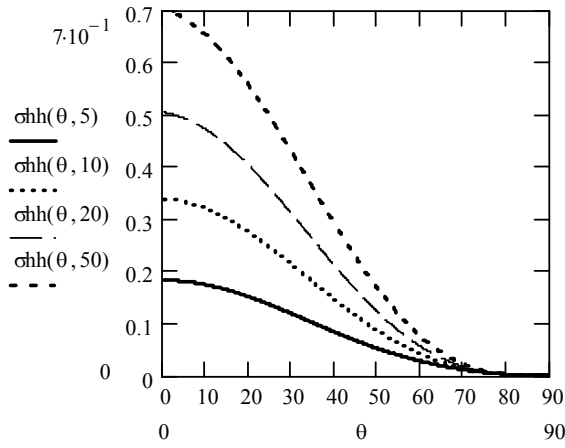


Рис. 1. Удельная ЭПР на горизонтальной поляризации

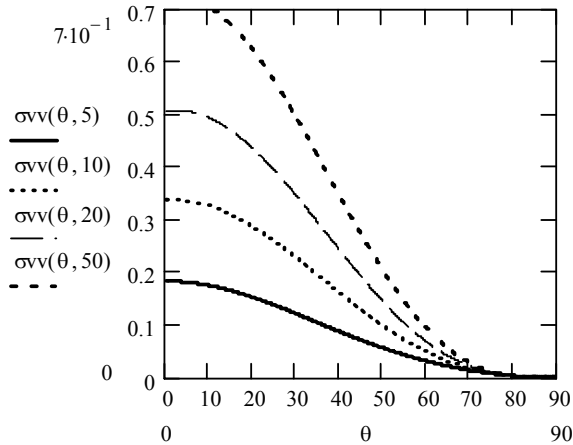


Рис. 2. Удельная ЭПР на вертикальной поляризации

На рис. 4, 5, 6 представлены зависимости удельных ЭПР в дБ от угла визирования  $\sigma_{vv1}(\theta, \epsilon)$ ,  $\sigma_{hh1}(\theta, \epsilon)$ ,  $\sigma_{hv1}(\theta, \epsilon)$ .

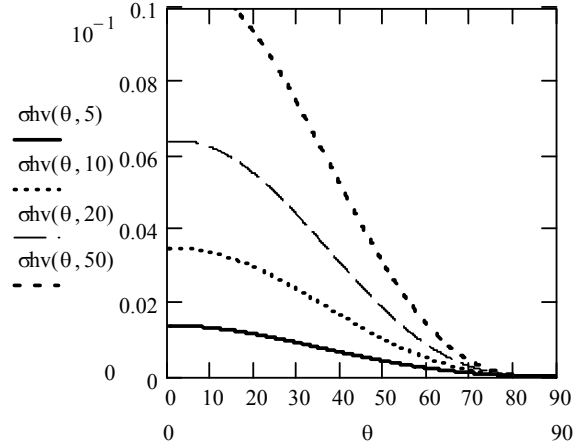


Рис. 3. Удельная ЭПР на перекрестной поляризации

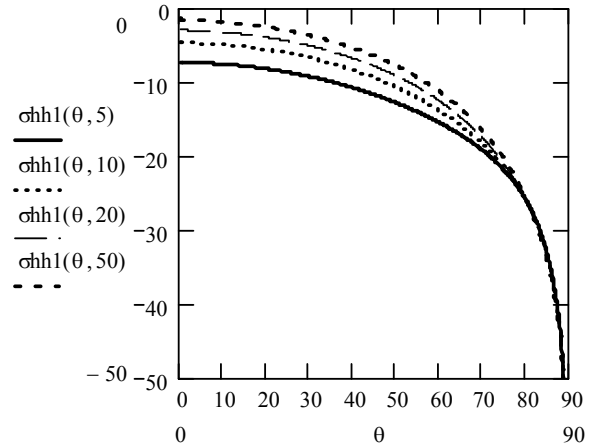


Рис. 4. Удельная ЭПР (дБ) на горизонтальной поляризации

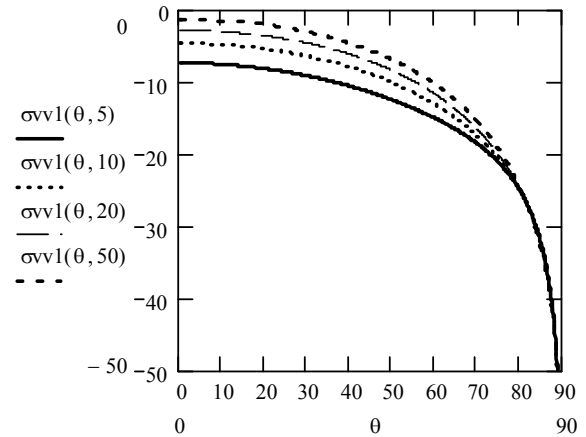


Рис. 5. Удельная ЭПР (дБ) на вертикальной поляризации

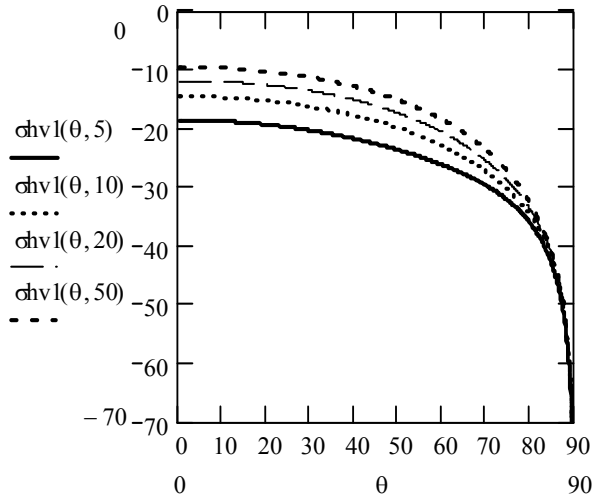


Рис. 6. Удельная ЭПР (дБ) на перекрестной поляризации

### Исследование точностей многопараметрических оценок параметров поверхности

Для модели Оха выполнено исследование предельных погрешностей совместного оценивания диэлектрической проницаемости и параметра, характеризующего высоту неровностей  $k \cdot \sigma_h$ , при одновременной регистрации колебаний горизонтальной, вертикальной и перекрестной поляризации.

При этом использована методика, показанная в [3, 4] (выражения (1) [3], (21) [4]).

Зависимости этих погрешностей от угла визирования для нескольких значений диэлектрической проницаемости  $\sigma_\epsilon(\theta, \epsilon)$ ,  $\sigma_{k\sigma_h}(\theta, \epsilon)$  показаны на рис 7, 8.

На рис. 9, 10 показаны зависимости погрешностей совместной оценки диэлектрической проницаемости и параметра, характеризующего высоту неровностей  $k \cdot \sigma_h$ , от величины

$$k \cdot \sigma_h - \sigma_\epsilon(ks, \epsilon)$$

и  $\sigma_{k\sigma_h}(ks, \epsilon)$ ,  $\theta = 40^\circ$ .

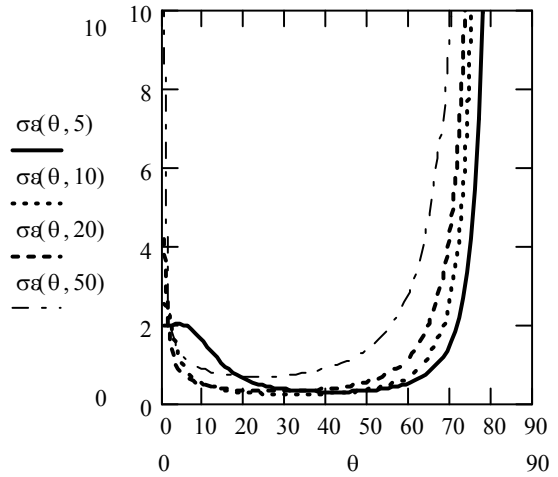


Рис. 7. Предельные погрешности оценивания  $\epsilon$

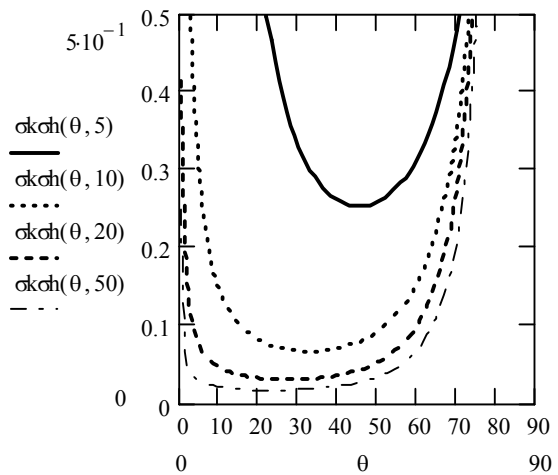


Рис. 8. Предельные погрешности оценивания  $k\sigma_h$

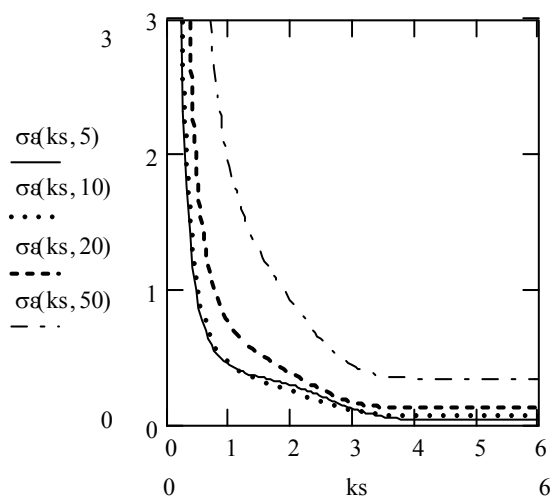


Рис. 9. Предельные погрешности оценивания  $\epsilon$

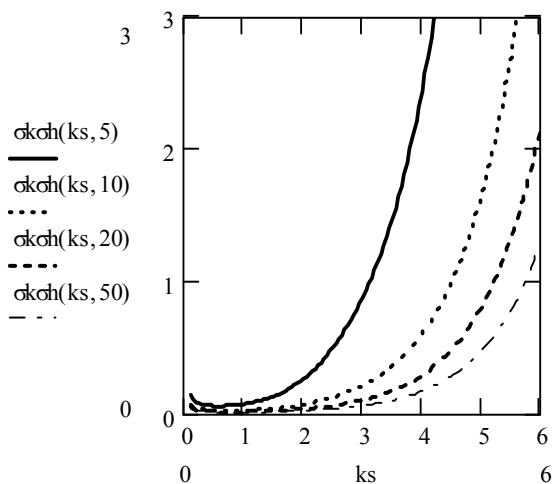


Рис. 10. Предельные погрешности оценивания  $k\sigma_h$

### Заключение

Выполненные исследования показывают, что эмпирически полученная модель Оха может быть применена для описания ряда поверхностей, удовлетворяющих условиям, показанным выше, при решении задач оценивания параметров и статистических характеристик этих поверхностей.

Из зависимостей (рис. 1 – 6) следует, что удельная ЭПР модели Оха уменьшается с ростом угла визирования и она тем больше, чем больше диэлектрическая проницаемость поверхности. Погрешности оценок диэлектрической проницаемости и высоты неровностей максимальны при углах, близких к  $0^\circ$  и  $90^\circ$ , и принимают наименьшие значения при  $\theta = 10^\circ \dots 50^\circ$  (рис. 7, 8).

С увеличением параметра  $k \cdot \sigma_h$  погрешности оценок диэлектрической проницаемости уменьшаются, а погрешности оценок самого параметра  $k \cdot \sigma_h$  увеличиваются (рис. 9, 10). Следовательно, наилучшие точности совместных оценок парамет-

ров этой поверхности имеют место при углах  $\theta = 10^\circ \dots 50^\circ$  и при значениях параметра, характеризующего высоту неровностей  $k \cdot \sigma_h > 4$ .

Таким образом, полученные в работе результаты могут быть использованы при организации и проведении различных исследовательских и экспериментальных работ в системах дистанционного зондирования.

### Литература

1. Oh Y., Sarabandi K., Ulaby F.T. An empirical model and an inversion technique for radar scattering from bare soil surface // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. – 1992. – GE-30 (2). – P. 370-381.
2. Oh Y., Sarabandi K., Ulaby F.T. An inversion algorithm for retrieving soil moisture and surface roughness from polarimetric radar observation // IGARSS-94. – 1994. – V. 3. – P. 1582-1584.
3. Нежальская К.Н. Анализ потенциальных точностных характеристик оценивания параметров функционально-детерминированных электрофизических моделей поверхностей // Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних сил. – Х.: ХУПС. – 2006. – Вип. 3(9). – С. 119-121.
4. Волосюк В.К., Кравченко В.Ф. Оптимальное комплексирование многоканальной обработки стохастических сигналов при активном дистанционном зондировании подстилающей // Радиотехника. – 1998. – №10. – С. 46-52.

Поступила в редакцию 21.08.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.К. Волосюк, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.