

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ГЕОЛОКАЦІЇ

Штука В. Я., студент; Зінченко М. В., асистент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Для вимірювання складу і властивостей підповерхневих шарів та їх електрофізичних параметрів використовується частотна залежність коефіцієнта відбиття підповерхневого середовища $\dot{R}(f)$. У зв'язку з високим загасанням хвиль у ґрунті стає актуальним питання потужності георадару.

Якщо шари не володіють магнітними властивостями, функціонал нев'язки має вигляд:

$$\Phi_M(\lambda) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M |\dot{R}_T(f_k, \lambda) - \dot{R}_e(f_k, \lambda_{\text{іст}})|$$

де $\lambda = \{\dot{\epsilon}_1, \dots, \dot{\epsilon}_{N_c}; h_1, \dots, h_{N_c}\}$ — вектор комплексних діелектричних проникностей підповерхневих шарів та їх товщин, $\lambda_{\text{іст}}$ — вектор дійсних значень параметрів середовища, N_c — кількість шарів, M — обсяг дискретного набору частот, на яких вимірюється коефіцієнт відбиття.

Розрахунок товщини n -го шару здійснюється за формулою:

$$h_n = \frac{c \cdot \tau_n}{2 \cdot \text{Re} \cdot \sqrt{\dot{\epsilon}_n}}$$

де τ_n — затримка сигналу на проходження n -го шару в прямому і зворотному напрямках, $\dot{\epsilon}_n$ — комплексна діелектрична проникність.

Комплексні амплітуди електричної і магнітної складових плоскої хвилі в однорідному середовищі:

$$\dot{E}(z) = E_0 \cdot \exp(-i \cdot \dot{k}_B \cdot H), \dot{H}(z) = H_0 \cdot \exp(-i \cdot \dot{k}_B \cdot H)$$

де $\dot{k}_B = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{c} \cdot \sqrt{\dot{\epsilon} \cdot \dot{\mu}} = \sqrt{2 \pi f \mu_0 \dot{\mu} (2 \pi f \epsilon_0 \dot{\epsilon} - i \sigma)}$ — комплексне хвильове число, f — частота, c — швидкість світла в вакуумі, $\dot{\epsilon}$, $\dot{\mu}$ — комплексні діелектрична і магнітна проникності, ϵ_0 , μ_0 — електрична і магнітна сталі відповідно, σ — питома провідність середовища, $\epsilon' = \text{Re}(\dot{\epsilon})$ — відносна діелектрична проникність. Комплексне хвильове число для немагнітних середовищ ($\dot{\mu} = 1$) має вигляд $i k = \alpha + i \beta$, де $\alpha = \frac{2 \pi f}{c} \text{Im}(\sqrt{\dot{\epsilon}})$ — коефіцієнт загасання, $\beta = \frac{2 \pi f}{c} \text{Re}(\sqrt{\dot{\epsilon}}) = \frac{2 \pi f}{V_\Phi}$ — фазова постійна, $V_\Phi = \frac{c}{\text{Re}(\sqrt{\dot{\epsilon}})}$ — фазова швидкість поширення хвилі в середовищі [2].

При вертикальному падінні плоскої хвилі на систему з N_c шарів (рис. 1) результуючий коефіцієнт відбиття системи шарів можна знайти із співвідношення:

$$R = \frac{\dot{Z}_{\text{вх}2} - \dot{Z}_I}{\dot{Z}_{\text{вх}2} + \dot{Z}_I}$$

де $\dot{Z}_{\text{ВХ}2} = \frac{(\dot{Z}_{\text{ВХ}3} + \dot{Z}_2) + (\dot{Z}_{\text{ВХ}3} - \dot{Z}_2)\exp(-2ik_2h_2)}{(\dot{Z}_{\text{ВХ}3} + \dot{Z}_2) - (\dot{Z}_{\text{ВХ}3} - \dot{Z}_2)\exp(-2ik_2h_2)} \dot{Z}_2$, $\dot{Z}_n = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon}}$ для вертикальної і горизонтальної поляризації падаючої хвилі.

Енергетичний потенціал для нижньої межі шару:

$$p_n = L_{\text{фр}n} + L_{\text{гр}n} - L_{\text{ф}} + L_c$$

де $L_{\text{фр}n} = 10\lg\left(\frac{64\pi^2(H_0+h)^2}{\lambda_0^2 G_{\text{пр}} G_{\text{пер}}}\right)$ — втрати потужності за рахунок розбіжності фронту хвилі при зондуванні нижньої межі; $L_{\text{гр}n} = -20\lg|\dot{R}_{\text{гр}n}| - 20\lg|1 - \dot{R}_{\text{гр}n}^2|$ — втрати при двократному проходженні верхньої межі шару (в прямому і зворотному напрямку) і однократному відбитті від нижньої межі шару; $L_{\text{ф}} \approx 20\lg\left(\frac{H_0+h}{H_0+p/\sqrt{\epsilon'}}\right)$ — фактор фокусування випромінювання шаром, що виникає при переході хвилі з оптично менш щільного середовища в оптично більш щільне [1]; $L_c = 2\Gamma h$ — втрати потужності сигналу при проходженні шару в прямому і зворотному напрямках.

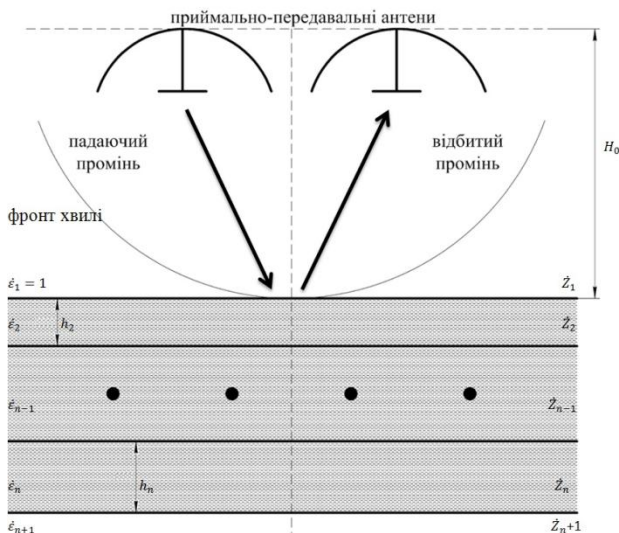


Рис. 1. Пошарова модель середовища

Випромінювана антеною максимальна потужність $P_{\text{прд}}$ гармонічного сигналу з несучою частотою 100 МГц, необхідна для спостереження за металевим об'єктом, розташованим на глибині 2 метри у вологій глині, при чутливості приймача $P_{\text{прм} \min} = 1$ мкВт, становить більше 100 Вт.

Таким чином, до числа факторів, що визначають особливості побудови георадарів і енергетичного розрахунку в порівнянні з радіодалекомірами і вимірювачами рівня, є сильне загасання і дисперсія швидкості розповсюдження електромагнітних хвиль у ґрунті. Загасання сигналів в ґрунті накладає жорсткі обмеження на динамічний діапазон сигналів георадара, а також призводить до необхідності використання потужних підсилювальних пристроїв.

Література

1. Свистов В. М. Радиолокационные сигналы и их обработка / В. М. Свистов — М. : Издательство МЭИ, 2003. — 448 с.
2. Финкельштейн М. И. Подповерхносная радиолокация / М. И. Финкельштейн — М. : Радио и связь, 1994. — 221 с.