

## Использование активно-пассивных методов геолокации для определения электрофизических характеристик грунта

Б. Одсурэн, А. И. Баскаков

*Московский Энергетический Институт (Технический Университет), Институт Радиотехники и Электроники, Радиотехнический факультет, кафедра Радиотехнических приборов. bukhtsooj@yahoo.com, BaskakovAI@mpei.ru*

*Рассматриваются вопросы определения электрофизических характеристик грунта, на основе наиболее часто применяемых электродинамических моделей. Применяются активно-пассивные методы подповерхностного зондирования. Показано, что полученные сведения о характеристиках грунта с помощью радиометрии позволят более точно измерить толщины слоев почвы при активной георадиолокации.*

*Considered issues of determining the electrical characteristics of the soil, based on the most commonly used electrodynamic models. Use active-passive methods for subsurface probing. Shown that the information on the characteristics of soil using radiometry will more accurately measure the thickness of soil layers with active GPR.*

В последние годы оформилась в качестве самостоятельного научного направления новая отрасль радиотехники – подповерхностная радиолокация, которая становится важным инструментом при дистанционном зондировании земных покровов и интерес к радиолокационному подповерхностному зондированию (РПЗ), область его применения значительно возрастают.

При активном подповерхностном зондировании параметры отраженного от границ нижних слоев земли или от объектов в грунте сигнала зависят от диэлектрической проницаемости. В георадаре с ЛЧМ сигналом частота биений (1) между прямым и отраженным сигналами, являясь главным информационным параметром, имеет зависимость от диэлектрической проницаемости.

$$F_{\sigma} = \frac{4 \cdot f_c \cdot F_m}{c} h \cdot \operatorname{Re} \sqrt{\varepsilon}, \quad (1)$$

где  $\Delta f_c$  - ширина спектра ЛЧМ сигнала;  $F_m$  - частота модуляции;  $c$  - скорость света;  $h$  - толщина слоя;  $\varepsilon$  - комплексная диэлектрическая проницаемость грунта.

Рассматривается в данной работе георадар с ЛЧМ сигналом. Диапазон частот 400 - 800 МГц. Применяется широкополосная микрополосковая антенна типа bow-tie.

Известно [1], что априорная неизвестность об электрофизических характеристиках грунта может привести к ошибкам в определении глубины при зондировании. Вертикальная и пространственная неоднородность комплексной диэлектрической проницаемости грунта  $\varepsilon$ , также ее частотная, сезонная и географическая зависимость приводит к большим трудностям при решении задачи георадиолокации [2, 3]. При решении задач радиоволновой диагностики состояния и свойств таких сред необходимо учитывать пространственное распределение  $\varepsilon$ . Данные о профильном распределении  $\varepsilon$  можно получить либо из априорных данных, либо используя приближенные теоретические модели [4], либо экспериментально.

Экспериментальные методы могут дать более качественные данные о  $\varepsilon$ , но имеют существенное ограничение из-за того, что в реальной среде на значение  $\varepsilon$  влияет не только состав вещества, но и климатические условия, неоднородность и т.д.

Во многих практически важных случаях применения подповерхностных радаров среда распространения сигналов может быть описана моделью в виде многослойного диэлектрика с различными значениями комплексных диэлектрических проницаемостей. Анализ экспериментальных данных по характеру изменения диэлектрической проницаемости и геометрии реальных покровов позволяет предложить электродинамические модели, построенные путем последовательного введения электрических и геометрических неоднородностей, слоистой структуры, как на границах, так и внутри его. Считая, что в среде имеется только вертикальная неоднородность комплексной диэлектрической проницаемости можно построить несколько моделей. Но даже при известной модели грунта определение  $\varepsilon$  затруднительно, так как не существует точного способа ее определения [5].

При использовании модели почвы радиометрическая информация (данные изменения теплового радиоизлучения среды на различных длинах волн) может дать решение поставленной задачи и позволяет определить электрофизические характеристики земного покрова. Основой для первоначального выбора той или иной модели служит априорная информация об излучающей среде – географическая (суша, море, время года и т.д.), данные визуального наблюдения, данные радиолокационного зондирования и т.д. Данные радиолокационного зондирования могут дать информацию о характере границ между отдельными слоями, числе слоев и общей толщине ледяного слоя. И позволяет более конкретно выбрать электродинамические модели, для которых известны соотношения, связывающие электрофизические параметры среды с параметрами излучения. При подстановке в эти соотношения значений экспериментальных данных можно определить параметры среды. Естественно, что с увеличением объема экспериментальных данных дает возможность аппроксимировать реальную среду более сложной модели и, следовательно, описать ее более точно [6].

Электродинамические модели почвы, построенные путем последовательного введения электрических и геометрических неоднородностей, слоистой структуры, как на границах, так и внутри могут быть много.

В данной работе рассмотрены только несколько наиболее встречающиеся модели грунта:

- Однородная: это наиболее упрощенная модель и можно сюда отнести сравнительно толстые объекты или тонкие слои с большим затуханием и гладкой поверхностью, например, асфальтовые и бетонные покрытия, гладкую земную поверхность, очень толстые материковые льды и т.п.

- экспоненциальные: для многих естественных покровов, характеризующих наличием переходного слоя, удачной оказывается аппроксимация изменения диэлектрических свойств по глубине с помощью экспоненциального закона. Модели таких сред называются экспоненциальными.

- слоистые: приемлемой электродинамической моделью таких сред является система электрически однородных слоев с плоскими границами раздела.

Известно, что яркостная температура среды характеризуется коэффициентом излучательной способности или коэффициентом отражения [7]

$$T_{\gamma}(\theta) = (1 - R(\theta)) \int_0^{\infty} \frac{\gamma_{\lambda}}{\cos \theta'} T(h) \exp\left(-\frac{\gamma_{\lambda} h}{\cos \theta'}\right) dh, \quad (2)$$

где  $R(\theta)$  - коэффициент отражения зависит от угла  $\theta$  и поляризации;  $\theta'$  связан с углом  $\theta$  законом Снеллиуса;  $T(h)$  - температура на глубине  $h$ ;  $\gamma_\lambda$  - погонный коэффициент поглощения по мощности в среде.

Если вертикальное визирование, из (2), учитывая, что  $1 - \chi = R(0)$ , получим

$$T_y(0) = \chi \cdot \gamma_\lambda \int_0^{\infty} T(h) \exp(-\gamma_\lambda h) dh \quad (3)$$

Из (2) и (3) очевидно, что яркостная температура зависит не только электрических свойств грунта, но и распределения термодинамической температуры и затухания сигнала с глубиной, поэтому задача определения характеристик грунта усложняется. Но при этом можно использовать известные законы изменения температуры.

При отсутствии априорной информации о толщинах слоев, на изображении экспериментально измеренного подповерхностного профиля указывается границы раздела слоев среды и вводят табличные значения диэлектрической проницаемости для каждого из этих слоев [1]. Используя радиолокационный подповерхностный профиль, и подбирая для него подходящую электродинамическую модель, с помощью пассивной системы радиозондирования определяются электрофизические характеристики среды, что позволит получить более точные данные при измерении толщины слоя в многослойных средах и при определении местоположения объектов в грунте. Совместное использование активного и пассивного метода оправдано увеличением информации о среде, а также точностью и достоверностью.

## Литература

1. Вопросы подповерхностной радиолокации/ Коллективная монография/ под ред. А.Ю. Гринева. – М.: Радиотехника, 2005. – 416 с.
2. Радиолокационные методы исследования Земли/ Ю.А. Мельник, С.Г. Зубкович, В.Д. Степаненко и др. под ред. Ю.А. Мельника. – М.: Советское радио, 1980 – 264 с.
3. Лещанский Ю.И., Мигинский С.В. Помехи от естественных неоднородностей грунта при подповерхностной радиолокации // Докл. АН СССР. - 1989. - Т.304, N 5. - С.1136-1138
4. Владов М. Л., Старовойтов А. В. Введение в георадиолокацию. М.: МГУ. 2004.
5. Шутко А.М. СВЧ-радиометрия водной поверхности и почвогрунтов. М.: Наука, 1986
6. Богородский В. В., Козлов А. И, Тучков Л. Т. Радиотепловое зондирование земных покровов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 224 с.
7. Радиоизлучение Земли как планеты. Башаринов А. Е., Гурвич А. С., Егоров С. Т. – М.: Наука, 1974.