

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫМИ РАДИОИМПУЛЬСАМИ С УЧЕТОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ СРЕДЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РЕАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Загоскин В.В., Лукьянов С.П., Ильюшенко В.Н., Карауш А.С., Семенчук В.Е, Потемин Р.В.

Рассматриваются вопросы пространственно-временного распределения электродинамических параметров в капиллярно-пористых средах при воздействии реальных климатических и погодных факторов. Показано, что эти распределения имеют нестационарный характер. Приводится методика нахождения таких распределений под действием внешних и внутренних факторов. Делается вывод, что при решении прямой электродинамической задачи для сверхширокополосных сигналов в капиллярно-пористых средах необходимо учитывать характер неоднородного распределения их электродинамических параметров, обусловленного влиянием влажности и температуры.

При разработке методов интерпретации данных широкополосного зондирования одной из наиболее актуальных является задача адекватного описания взаимодействия электромагнитных волн с зондируемой средой, характеризуемой эффективной комплексной диэлектрической проницаемостью (ϵ). Это связано с тем, что зондируемые горные породы, почво-грунты, строительные материалы и т.д. представляют собой сложные диэлектрические гетерогенные среды с капиллярно-пористой структурой. В сухом состоянии они неоднородные диэлектрики, а во влажном - полупроводящие среды. В реальных природных условиях эти среды постоянно контактируют с меняющимся температурным полем и водой в различных ее агрегатных состояниях. Вода при этом является переменным компонентом и определяет диэлектрические свойства таких сред [1].

При решении задач радиоволновой диагностики состояния и свойств таких капиллярно-пористых сред необходимо учитывать пространственно-временное распределение в них электрических характеристик, таких как: комплексная диэлектрическая проницаемость (ϵ) и электропроводимость (σ). Эти параметры являются сложными функциями, влажности, температуры, типа и структуры среды, частоты взаимодействующего со средой электромагнитного поля. В реальных условиях влажность (W), температура (T) в таких средах меняются в пространстве и во времени под воздействием различных внешних и внутренних факторов. Задача определения динамики пространственного распределения влажности, температуры и диэлектрических характеристик в капиллярно-пористых средах под влиянием различных внешних факторов подробно рассмотрена в работе [2]. Основываясь на модельных представлениях теории протекания, которая предполагает степенной характер зависимости диэлектрических параметров капиллярно-пористых материалов от объемного содержания компонента с большой обобщенной проводимостью, авторами разработана электрическая модель, с помощью которой удалось удовлетворительно описать влажностные и температурные зависимости комплексной диэлектрической проницаемости, а также электропроводимости капиллярно-пористых сред с равномерно распределенной объемной влажностью в диапазоне ($10^2 - 10^{10}$) Гц. [3,4].

Используемые в данной работе зависимости электродинамических параметров капиллярно-пористых систем от влажности, температуры и частоты электромагнитного поля имеют вид [2]:

$$\epsilon_{1cm}(\omega) = \epsilon_{1вода}(\omega) \cdot (W - W_{c1})^{t1} + \epsilon_{1сух}(\omega), \quad (1)$$

$$\epsilon_{2cm}(\omega) = \epsilon_{2вода}(\omega) \cdot (W - W_{c2})^{t2} + \epsilon_{2сух}(\omega) + \sigma / \omega, \quad (2)$$

$$tg \delta_{cm} = \epsilon_{2cm} / \epsilon_{1cm}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_{1см}(\omega)$, $\varepsilon_{1вода}(\omega)$, $\varepsilon_{1сух}(\omega)$ - диэлектрические проницаемости смеси, воды и сухого материала на частоте ω , соответственно;

$\varepsilon_{2см}(\omega)$, $\varepsilon_{2вода}(\omega)$, $\varepsilon_{2сух}(\omega)$ - факторы диэлектрических потерь для смеси, воды и сухого материала соответственно;

σ - омическая сквозная проводимость по постоянному току;

W - относительная объемная влажность;

W_{c1} , W_{c2} - пороги протекания;

t_1 , t_2 - показатели степени;

Для образцов с равномерным распределением объемной концентрации воды, при условии, что время выдержки образца при температуре измерения достаточно большое, влажность можно записать:

$$W = W_0 \exp(-\alpha \cdot \Delta T), \quad (4)$$

где $\Delta T = (T_0 - T)$ в градусах Кельвина, α - коэффициент, который находится для разных материалов по окончанию фазовых переходов.

В соответствии с имеющимися экспериментальными данными для сухих сред можно пренебречь частотной зависимостью диэлектрических параметров. Для определения частотных зависимостей влажных сред $\varepsilon_{1вода}(\omega)$ и $\varepsilon_{2вода}(\omega)$ использовались формулы Дебая. Входящие в эти формулы время релаксации, статическая и высокочастотная диэлектрические проницаемости так же, как и $\sigma_{вода}$ в (3) зависят от температуры и засоленности почвенного раствора. Определяющие эти зависимости эмпирические формулы взяты из [5].

Динамика пространственного распределения основных электрических параметров ($\varepsilon_{1см}(\omega)$, $\text{tg}\delta_{см}$) капиллярно-пористых сред определяется различными факторами, среди которых главными являются температура T и влажность W . В реальных условиях температура и влажность внутри материала зависят от изменений внешней температуры, количества выпавших осадков и прочих климатических воздействий.

Для нахождения пространственно-временного распределения W и T капиллярно-пористые среды были представлены в виде жесткого каркаса и пор, образующих взаимопроникающие структуры [6]. Параметры, описывающие тепловлажностные процессы в подобных средах, существенно зависят не только от типа материала, но и от T и W . Это обстоятельство приводит к тому, что задача нахождения для заданного момента времени t распределений $T(z,t)$ и $W(z,t)$ по глубине z сводится к решению системы нелинейных дифференциальных уравнений теплопроводности и диффузии с граничными условиями на поверхностях, имитирующими различные климатические воздействия [2].

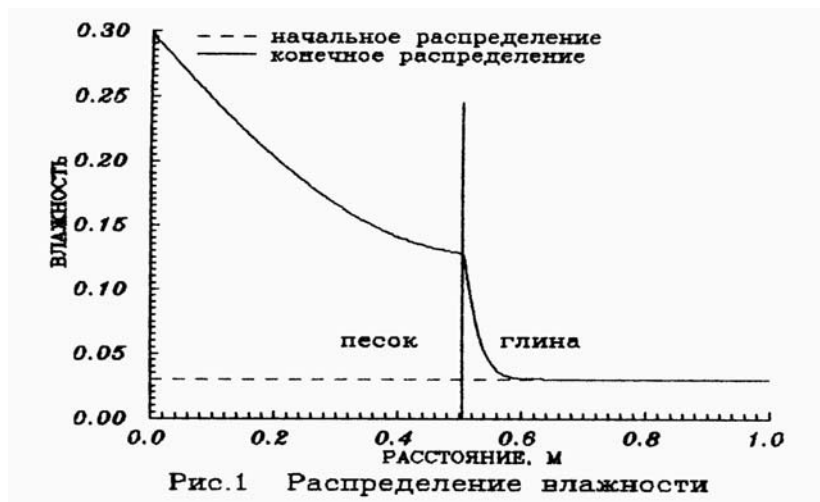


Рис.1 Распределение влажности

Найденные таким образом пространственно-временные распределения T и W использованы нами для определения распределения электродинамических параметров в неоднородных по свойствам капиллярно-пористых средах. Зависимости ϵ_{1cm} , $tg\delta_{cm}$ внутри

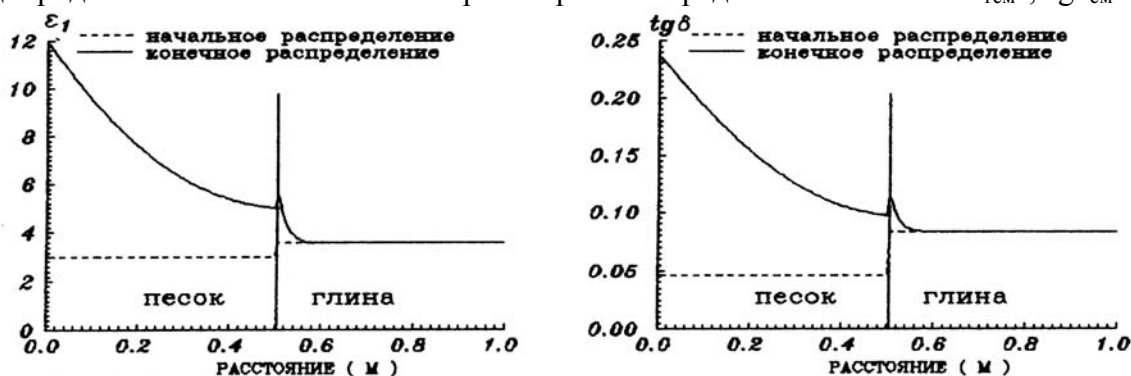


Рис.2 Распределение диэлектрических параметров в системе

каждого слоя от T и W определяются по формулам (1-3).

Так как распределения температуры и влажности могут быть нестационарными, то диэлектрическая проницаемость, строго говоря, будет функцией не только координат, но и времени. Однако, временные масштабы для тепло-влажностных процессов (часы и сутки) и процессов распространения сигнала (десятки и сотни наносекунд) существенно различны, поэтому временной зависимостью диэлектрической проницаемости в данной задаче можно пренебречь. Примеры распределений влажности (W) и ϵ_{1cm} , $tg\delta_{cm}$ при $T=280K$ для частоты 1ГГц в двухслойной системе песок-глина приведены на рис.1,2.

Далее решается задача определения отклика на импульсное электромагнитное воздействие произвольной формы в капиллярно-пористых средах с некоторым пространственным распределением диэлектрических параметров.

Данная методика решения прямой электродинамической задачи для расчетов

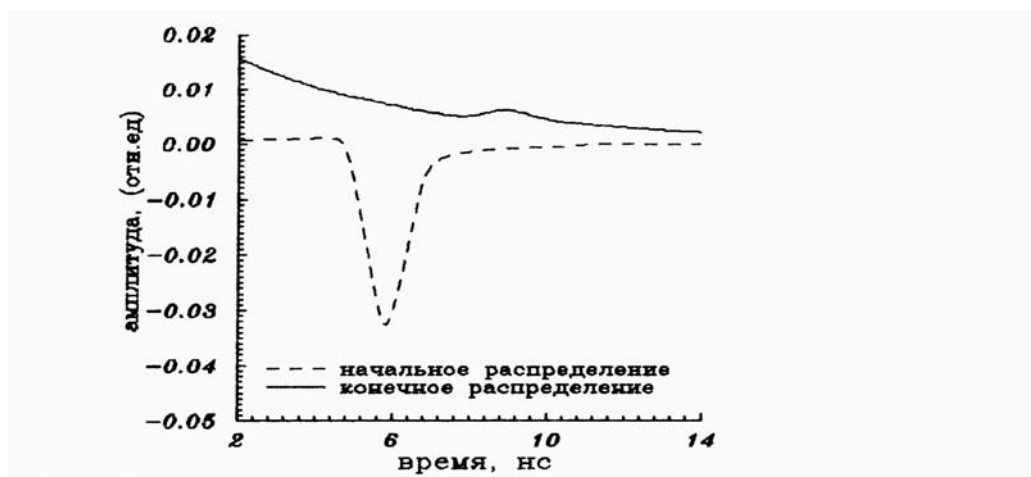


Рис.3 Сигнал, отраженный от границы песок-глина

отраженного сигнала в различных капиллярно-пористых структурах подробно описана в работе [7].

В качестве примера на рис.3 приведены отраженные сигналы от границы слоев, рассчитанные для падающего импульса треугольной формы в системе песок-глина с распределением диэлектрических параметров, приведенным на рис.2. Из рис.3 видно, что распределение влажности и температуры в системе и их значения оказывают существенное влияние на положение и форму пиков в отраженном сигнале. Следовательно, учет этих распределений обязателен для корректного решения задач радиолокации подповерхностных объектов.

ВЫВОДЫ

Результаты теоретического и экспериментального исследования электродинамических параметров подповерхностных сред и влияние их на результаты решения задач подповерхностной радиолокации позволяют сделать следующие выводы и наметить дальнейшие пути развития сверхширокополосных зондирующих систем.

1. Пространственно-временное распределение электродинамических параметров в капиллярно-пористых средах при воздействии реальных климатических и погодных факторов имеют нестационарный характер, определяются из зависимостей указанных параметров от влажности и температуры, которые для каждой области исследуемого объекта находятся из решения тепловлажностных уравнений, с помощью формул теории протекания, с учетом частотно-температурной релаксации диэлектрических характеристик свободной воды, дисперсии диэлектрической проницаемости в области низких частот и других процессов, обусловленных влиянием влажности, температуры, засоленности, плотности и т.д.

2. При решении прямой электродинамической задачи для сверхширокополосных сигналов в капиллярно-пористых средах необходимо учитывать характер неоднородного распределения их электродинамических параметров, обусловленного влиянием влажности и температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арманд Н.А., Башаринов А.Е., Шутко А.М. //Изв. вузов. Радиофизика-1977. - т.20, №6.- С.1137.
2. Загоскин В.В., Катаев С.Г., Тюльков Г.И., Чернышов В.Н. //Изв. вузов. Физика- 1994. - N11.- С.10.
3. Загоскин В.В., Нестеров В.М. и др. //Изв. вузов. Физика. -1982. - N1.- С.65.
4. Загоскин В.В., Нестеров В.М., Замотринская Е.А., Михайлова Т.Г. //Изв. вузов. Физика.- 1981. - N7.- С.74.
5. Кондратьев К.Я., Григорьев А.А., Рабинович Ю.И., Шульгина Е.М. Метрологическое зондирование подстилающей поверхности из космоса.- Л.: Гидрометеоиздат, 1979.
6. Дульнев Г.К. Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов.- Л.: Энергия, 1974.
7. Загоскин В.В., Катаев С.Г., Тюльков Г.И., Чернышов В.Н. //Изв.вузов. Физика.- 1994. - N11.- С.50-54.