

УДК 621.396.67

М.М. Абулкасымов, К.А. Джакыпов, Т.Г. Черныш, А.С. Шостак

## Исследование влияния неоднородной плоскостойкой структуры на импеданс широкополосной антенны

Представлены результаты теоретического исследования влияния неоднородных плоскостойких структур на импеданс широкополосной антенны, расположенной вблизи границы раздела. Проанализирована возможность использования данного влияния при зондировании неоднородных плоскостойких структур на примере четырехслойной модели.

**Ключевые слова:** широкополосная антенна, зондирование, импеданс, неоднородная структура.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2017-20-2-19-22

В процессе эксплуатации антенных устройств различных диапазонов волн, в зависимости от цели использования, возникает необходимость размещения антенны на расстояниях, соизмеримых с рабочей длиной волны. Одним из примеров использования такого рода антенных систем являются широко применяемые радиофизические методы дистанционного зондирования при анализе различных однородных и неоднородных структур, таких как почвогрунты, горные породы, части строительных сооружений, дорожные покрытия различного назначения и т.д. В подобных случаях применения антенн следует учитывать влияние подстилающей поверхности на импеданс, а значит, и на коэффициент усиления приемопередающих антенных систем. В работе [1] теоретически исследуется влияние неоднородных плоскостойких сред на импеданс линейной полуволновой антенны, расположенной вблизи границы раздела. Однако в работе [1] имеется ряд упрощений некоторых критически важных условий рассматриваемой задачи. К ним относятся зависящие от длины волны высота расположения антенны и размеры линейной полуволновой антенны. В дальнейшей работе для того, чтобы приблизить исследование к реальным условиям измерений импеданса, антенна была выбрана широкополосной (при сохранении линейных размеров), а высота расположения антенны представлена постоянными величинами.

### Постановка задачи и геометрическая модель

Целью данной работы является теоретическое исследование влияния неоднородных плоскостойких сред на импеданс широкополосной антенны, расположенной вблизи границы раздела.

В исследуемой модели широкополосная антенна расположена на высоте  $h$ , а размер плеча антенны  $l$  равен четверти средней длины волны  $\lambda_{\text{ср}}$ , присущей диапазону рабочих частот исследуемой широкополосной антенны (рис. 1). Исследуемая неоднородная структура состоит из четырех плоских слоев. Каждый слой характеризуется собственной толщиной  $T_i$  и комплексной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_i$ . При расчетах импеданса широкополосной антенны, с учетом влияния неоднородной структуры, среду с пространственным распределением диэлектрических параметров представляем в виде много-

слойной системы и для наглядности предполагаем однородной в  $X$ - и  $Y$ -направлениях. Слой  $T_1$  – воздушное пространство, в котором расположена антенна,  $T_2$  и  $T_4$  – слои с одинаковой комплексной диэлектрической проницаемостью, которые при отсутствии исследуемой неоднородности ( $T_3 = 0$ ) представляют собой однородную структуру с комплексной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = \epsilon_2 = \epsilon_4$ . Слои  $T_2$  и  $T_3$  конечны, в то время как слой  $T_4$  является полупространством ( $T_4 \rightarrow \infty$ ).

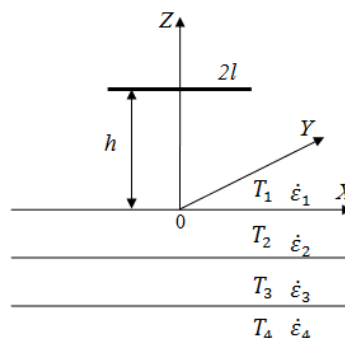


Рис. 1. Геометрия задачи

Для сравнения зависимостей внесенного сопротивления в широкополосную антенну были выбраны два диапазона рабочих частот. Первый – от 300 до 600 МГц, второй – от 600 до 1200 МГц. Каждый из исследуемых диапазонов рабочих частот соответствовал своей антенне. Расчеты полного сопротивления, с учетом внесенного, проводились по формулам [1, 3] для четырехслойной модели. Задача состояла в том, чтобы исследовать влияние многослойной плоскостойкой структуры на импеданс широкополосной антенны, в случаях, когда глубина залегания  $T_2$  неоднородности  $T_3$  принимает различные значения. Ранее в работах [1, 2, 4] было проведено исследование зависимости приведенной высоты расположения антенны  $h/\lambda$  от внесенного сопротивления. На основе этих работ была принята для исследования высота расположения антенны  $h = 0,28\lambda_{\text{ср}}$ , также для сравнения было выбрано типичное расстояние, на котором проводят зондирование с помощью переносных приемопередающих антенных систем  $h = 3$  см. Основная структура, в которой залегает

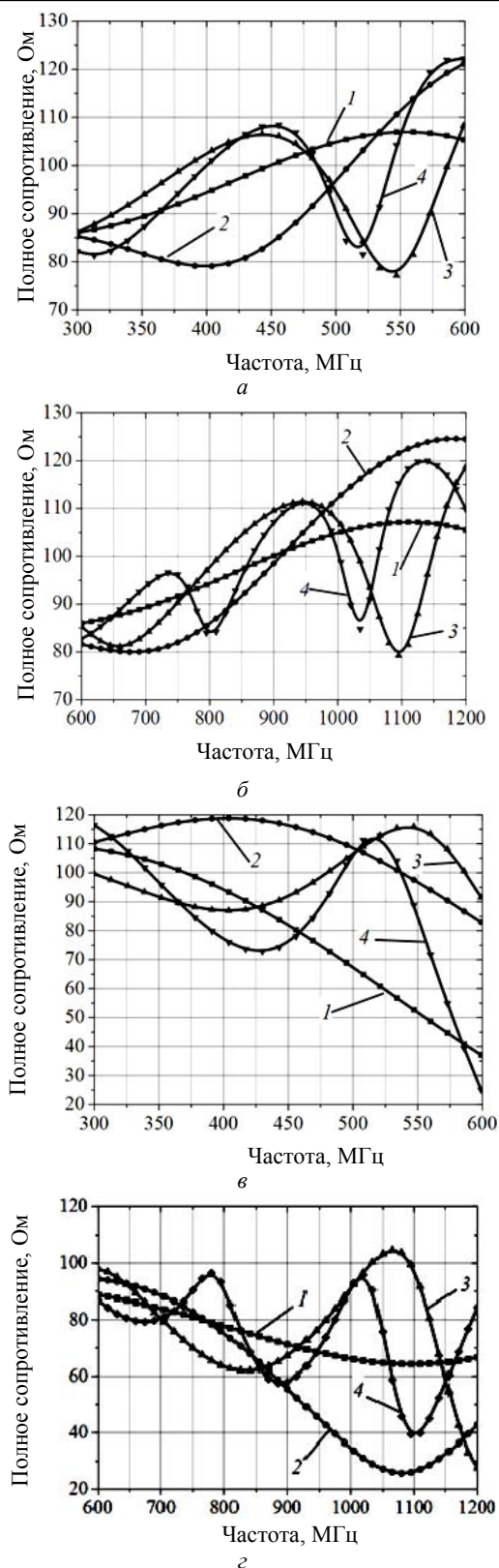


Рис. 2. Зависимости модуля полного сопротивления широкополосной антенны от частоты при  $\epsilon_2 = \epsilon_4 = 15 - 0,01j$ : а, б – для  $h = 0,28\lambda_{ср}$ ; в, г – для  $h = 3$  см  
1 – при отсутствии неоднородности;  
2 – при глубине залегания 1 см;  
3 – при глубине залегания 7 см;  
4 – при глубине залегания 15 см

неоднородность, характеризуется комплексными диэлектрическими проницаемостями  $\epsilon_2$  и  $\epsilon_4$ , которые принимают значения  $15 - 0,01j$  для первого случая и  $5 - 0,001j$  – для второго. Сама неоднородность имеет комплексную диэлектрическую проницаемость  $\epsilon_3 = 2 - 0,003j$  и постоянную толщину  $T_3 = 10$  см. Далее представлены для сравнения графики зависимостей модуля полного сопротивления антенны от частоты (рис. 2, 3) для двух диапазонов частот при отсутствии неоднородности и различных глубинах ее залегания.

#### Анализ результатов

При сравнении графиков зависимостей модуля полного сопротивления широкополосной антенны (с учетом внесенного средой сопротивления) от частоты можно заметить нарастание периодичности зависимостей с увеличением глубины залегания неоднородности.

Однако если сравнить полученные графики для разных высот  $h$ , видно, что зависимости, представленные для различных глубин залегания неоднородности при  $h = 0,28\lambda_{ср}$  (рис. 2, а, б; рис. 3, а, б), изменяются периодически в определенных предсказуемых пределах, отличаясь между собой в основном положениями (частотой) полуволновых (максимумов) и четвертьволновых (минимумов) экстремумов. Отсюда можно сделать вывод о возможности по положениям экстремумов идентифицировать и определить глубину залегания неоднородности.

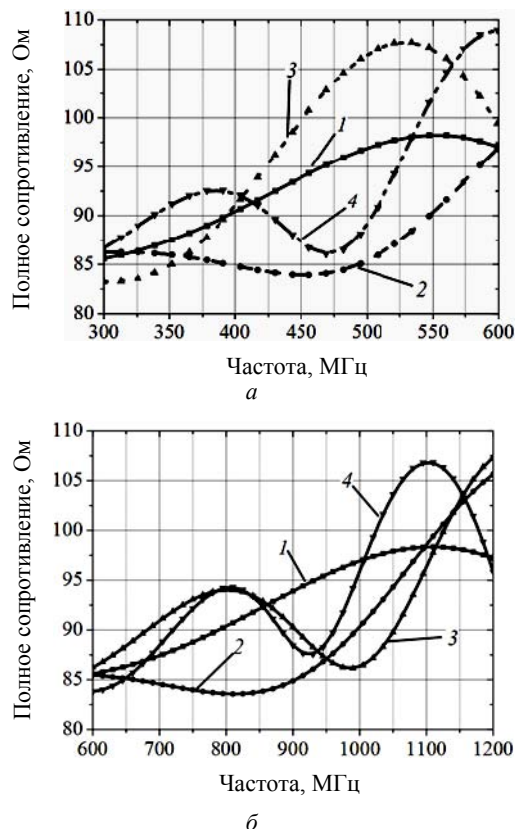


Рис. 3 (начало)

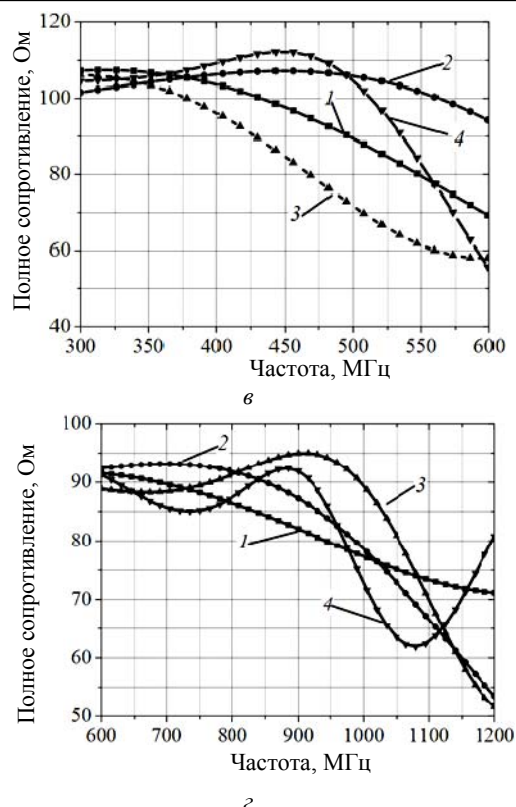


Рис. 3 (окончание). Зависимости модуля полного сопротивления широкополосной антенны от частоты при  $\epsilon_2 = \epsilon_4 = 5 - 0,001j$ : а, б – для  $h = 0,28\lambda_{cp}$ ; в, г – для  $h = 3$  см  
1 – при отсутствии неоднородности;  
2 – при глубине залегания 1 см;  
3 – при глубине залегания 7 см;  
4 – при глубине залегания 15 см

Рассмотренный случай типичной высоты зондирования (3 см) переносными приемопередающими системами (рис. 2, в, г; рис. 3, в, г) показал, что для рассмотренных моделей возникают резкие перегибы в зависимостях модуля полного импеданса, по которым сложно определить характер и глубину залегания неоднородности. Особенно сильно неоднозначность прослеживается на рис. 3, в, где кривые для различных глубин залегания неоднородности незначительно отличаются друг от друга.

Выбор диапазона частот для зондирования, как видно из сравнения рис. 3, в, г (в которых  $\epsilon_2, \epsilon_4$  среды залегания и  $\epsilon_3$  неоднородности имеют слабые отличия в сравнении со случаем, представленным на рис. 2, в, г), обусловлен контрастом между диэлектрическими характеристиками неоднородности и среды ее залегания, т.е. чем меньше разница между комплексной диэлектрической проницаемостью неоднородности и среды залегания, тем более высокочастотный диапазон следует применять для зондирования. Также выбор диапазона рабочих частот для зондирования зависит от предполагаемой глубины залегания неоднородности и ее линейных размеров, т.е. чем тоньше слои в исследуемой неоднородной плоскостной структуре, тем выше требуются частоты, применяемые для зондирования.

Для того чтобы оценить влияние размеров неоднородности на характер исследуемой зависимости, был построен график (рис. 4). При данном исследовании для примера была выбрана модель, в которой  $\epsilon_2 = \epsilon_4 = 15 - 0,01j$ ,  $\epsilon_3$  неоднородности остается прежней с глубиной залегания  $T_2 = 7$  см, частотный диапазон 300–600 МГц, при этом размер неоднородности представлен различными величинами.

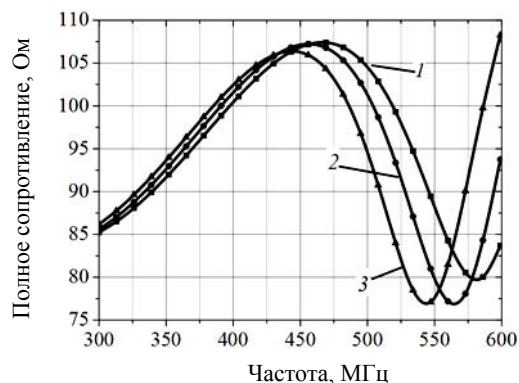


Рис. 4. Частотная зависимость модуля полного сопротивления антенны от толщины слоев:  
1 – 5 см; 2 – 7 см; 3 – 10 см

Из рис. 4 видно, что по характеру зависимостей имеется возможность различать толщины слоев по положениям экстремумов.

### Выводы

Проведенные теоретические исследования влияния неоднородных плоскостных структур на импеданс широкополосной антенны позволяют сделать следующие выводы:

1. Исследование влияния подстилающей плоскостной среды на импеданс широкополосных антенн может быть использовано при конструировании приземных широкополосных антенн.

2. Полученные зависимости могут быть использованы для зондирования неоднородных плоскостных сред. Например, если заранее занести в память устройства сканирования зависимости для некоторых типовых случаев залегания искомой неоднородности в данной среде. Тогда можно через устройство сравнения интерпретировать полученные данные сканирования и определить наличие, а также параметры неоднородности (глубина залегания, размер, диэлектрические характеристики).

3. Проанализировано преимущество использования высоты расположения антенны при зондировании  $h = 0,28\lambda_{cp}$  над типичной высотой зондирования переносными приемопередающими системами (3 см).

Предложенный метод зондирования широкополосной антенной при дальнейшем исследовании может помочь решить широкий круг задач инженерной геологии, дефектоскопии, археологии, строительства, поиска мин и др.

*Литература*

1. Шостак А.С., Лукьянов С.П., Дума А.Р., Загоскин В.В. Анализ теоретических и экспериментальных исследований влияния диэлектрических свойств контролируемого полупространства на параметры линейных вибраторных антенн // Журнал радиоэлектроники. – 2001. – № 1. – С. 1–11.
2. Шостак А.С., Першанин Д.А. Особенности зондирования неоднородных материальных сред с помощью линейных антенн // Изв. вузов. Физика. – 2012. – № 8/3. – С. 136–137.
3. Шостак А.С., Авдоченко Б.И., Загоскин В.В. др. Входной импеданс ультравысокочастотной линейной антенны, расположенной над трехслойной средой // Изв. вузов. Физика. – 2006. – № 8. – С. 79–82.
4. Шостак А.С., Гончаров А.В., Першанин Д.А. Контроль однородных и неоднородных сред с помощью линейных антенн // Изв. вузов. Физика. – 2010. – № 9/2. – С. 265–266.

---

**Абулкасымов Муроджон Маруфжонович**  
Ассистент каф. КиПР ТУСУР  
Тел.: +7-923-423-47-48  
Эл. почта: m.abulkasymov@mail.ru

**Джакыпов Канатбек Аманбаевич**  
Студент каф. КиПР ТУСУРа  
Тел.: +7-913-852-95-94  
Эл. почта: kanat.d95@gmail.com

**Черныш Тимофей Геннадьевич**  
Студент каф. КиПР ТУСУРа  
Тел.: +7-913-883-82-65  
Эл. почта: tima\_95@mail.ru

**Шостак Аркадий Степанович**  
Д-р техн. наук, профессор каф. КиПР ТУСУРа  
Тел.: +7-913-867-73-99  
Эл. почта: a-s-shostak@yandex.ru

Abulkasymov M.M., Dzhakypov K.A., Chernysh T.G.,  
Shostak A.S.

**Research of the influence of the inhomogeneous plane-layered structures on an impedance of the broadband antenna**

Theoretical research results of the influence of the inhomogeneous plane-layered structures on an impedance of the broadband antenna located near the interface are presented. The possibility of the use of this influence at probing of the plane-layered structures, on the example of four-layer model is analyzed.

**Keywords:** broadband antenna, probing, impedance, inhomogeneous structure.