

УДК 577.335

**К.А. Волегов, В.М. Сидоренко****ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ  
ДИПОЛЬНЫХ АНТЕНН ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ  
ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА**

*Рассмотрена возможность определения характеристик приповерхностных слоев биологических сред с использованием неконтактного метода, основанного на измерении импеданса линейных дипольных антенн. Представлены результаты компьютерного численного моделирования применимости метода для анализа приповерхностных слоев организма. Показана принципиальная возможность использования рассмотренного метода для неинвазивной диагностики организма.*

*Неконтактные методы; приповерхностные слои; электрические характеристики; импеданс антенны; толщина слоя; высота расположения антенны; диэлектрическая проницаемость; эпидермис; роговой слой.*

**К.А. Volegov, V.M. Sidorenko****EXAMINATION OF POSSIBILITY OF LINEAR DIPOLE ANTENNAS USING  
FOR NONINVASIVE DIAGNOSTIC OF HUMAN ORGANISM**

*The possibility of biological environment boundary layer characteristics determination has been studied with the use of non-contact method based on linear dipole antennas impedance measuring. The results of computer numerical modeling of using this method for organism boundary layers analyses have been presented. The principle possibility of using the studied method for non-invasive organism diagnosis has been demonstrated.*

*Noncontact methods; boundary layers; electrical characteristics; antenna impedance; layer thickness; level of antenna position; dielectric inductivity; epidermis; horny layer.*

Задача определения характеристик приповерхностных слоев организма весьма актуальна. На основании этих характеристик можно судить о психосоматическом состоянии человека. Поэтому широкое распространение получили методы получения данных о потенциалах и электропроводности кожи. Недостатком этих методов является то, что они являются контактными. В то же время существуют дистанционные методы получения информации о диэлектрических характеристиках слоев исследуемой среды путем регистрации импеданса приёмопередающих антенных систем, находящихся вблизи ее поверхности [1, 2, 5]. При этом профиль комплексной диэлектрической проницаемости среды определяют по измеренному импедансу  $Z = Z' + iZ''$  антенны. Целью настоящей работы является изучение возможности исследования комплексной диэлектрической проницаемости в приповерхностных слоях организма на основании измерения импедансных характеристик приёмопередающих антенных систем.

Рассмотрим систему из двух вибраторных антенн, расположенных в свободном пространстве параллельно координатной оси  $X$  вблизи поверхности исследуемой среды с произвольным числом слоев  $n$ . Антенна 1 (передающая) длиной  $2l_1$  расположена на высоте  $h$ , а антенна 2 (приемная) длиной  $2l$  – на высоте  $z$  от границы исследуемой среды. Требуется определить взаимный импеданс антенн при наличии исследуемой среды. Решение задачи проводится методом наведенных ЭДС. Для синусоидального распределения токов вдоль антенн 1 и 2, их взаимный

Раздел I. Фундаментальные основы медицинского приборостроения

импеданс при наличии исследуемой среды можно представить в следующем виде:  $Z_{total} = Z_{free} + Z_{border}$ , где  $Z_{free}$  – характеризует взаимный импеданс двух антенн в свободном пространстве;  $Z_{border}$  – определяется вкладом во взаимный импеданс двух антенн за счет присутствия исследуемой среды. Расчет значений  $Z_{free}$  дается в разных литературных источниках и не вызывает трудностей [4].

Для расчета значений  $Z_{border}$  нами использовалось соотношение, приведенное в [3], которое в общем виде можно представить как:

$$Z_{border} = \frac{240}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\infty} E(\nu, \Theta, \varepsilon) \left[ A(\nu) \frac{B(\nu, \Theta, l_1, l_2, \varepsilon)}{D(\nu, \Theta)} - C(\nu, \Theta) \frac{B(\nu, \Theta, l_1, l_2, \varepsilon)}{D(\nu, \Theta)} \right] \times \exp\left(-2\pi \frac{h+z}{\lambda} \sqrt{\nu^2 - 1}\right) d\nu d\Theta, \quad (1)$$

где:  $\nu$  – параметр функции Бесселя;  $\Theta$  – угловая координата;  $\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon''$  – комплексная диэлектрическая проницаемость исследуемой среды;  $E(\nu, \Theta, \varepsilon)$ ,  $A(\nu)$ ,  $C(\nu, \Theta)$ ,  $B(\nu, \Theta, l_1, l_2, \varepsilon)$ ,  $D(\nu, \Theta)$  – функции, описывающие характеристики электромагнитных полей антенной системы в присутствии исследуемой среды с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ .

Приведенное соотношение дает возможность проводить численные расчеты в случае сред с произвольным профилем  $\varepsilon$  по глубине исследуемого организма. При этом среда представляется в виде слоистой структуры с постоянным в пределах каждого слоя  $i$  значением  $\varepsilon_i$ . При  $l_1 = l_2 = \lambda/4$ ,  $y = 0$ ,  $c = 0$  приведенное соотношение может быть использовано для расчета импеданса одной приемопередающей антенны, расположенной над исследуемой средой.

Ранее один из вариантов метода, в котором используется одна приемопередающая антенна, зарекомендовал свою применимость при исследовании слоистых грунтов [2, 5]. Схема этого эксперимента представлена на рис.1.

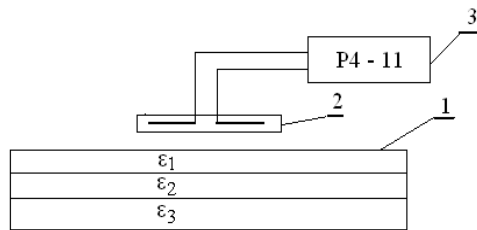


Рис. 1. Схема эксперимента с одной приемопередающей антенной:  
1 – модель слоистой среды; 2 – антенна; 3 – измеритель сопротивлений

Экспериментальные исследования слоистых грунтов проводились на частотах 450, 800 и 1200 МГц с помощью панорамного измерителя комплексных сопротивлений P4-11. Соответствующие этим частотам четвертьволновые вибраторные дипольные антенны по очереди подключались к измерителю P4-11. Сигнал с его внутреннего генератора возбуждал антенну в первый момент времени, во второй момент времени генератор выключался, и антенна принимала отраженный сигнал. Этим методом были получены удовлетворительные результаты измерений диэлектрических характеристик слоев грунта [2,5].

Нами проведен численный эксперимент, с помощью которого исследована возможность применения рассмотренного метода для дистанционного контроля

характеристик приповерхностных слоев организма человека с использованием выражения (1). При этом считалось, что условия эксперимента соответствуют схеме, представленной на рис 1. Характерные параметры приповерхностных слоев организма человека, влияющие на результаты расчетов теоретических зависимостей, приведены в табл.1.

Таблица 1

Параметры приповерхностных слоев организма человека

№ слоя	Слой, $i$	Толщина $T_i$ , (м)	Диэлектрическая проницаемость $\epsilon_i$ , Ом
1	Роговой слой	$5 \cdot 10^{-3}$ м	$53+57,24 i$
2	Влажная дерма	$3 \cdot 10^{-3}$ м,	$52+36,92 i$
3	Жировой слой	$10^{-2}$ м	$49+21,07 i$
4	Мышечный слой	$10^{-2}$ м	$49+21,07 i$

Были исследованы зависимости действительной  $Z'$ , мнимой части  $Z''$  и модуля импеданса  $|Z|$  зондирующей антенны, расположенной на фиксированной высоте 0,02 м от поверхности организма, от комплексной диэлектрической проницаемости второго слоя среды (влажная дерма). Именно здесь находятся такие чувствительные к состоянию организма структуры кожи, как микрокапиллярные сосуды, рецепторы, свободные нервные окончания и др. Значения диэлектрической проницаемости этого слоя варьировались в диапазоне, характерном для организма человека. Установлено, что максимальные изменения наблюдаются для значений  $Z'$  и  $|Z|$  от  $\epsilon'_2$  и лежат в пределах 5%. Зависимости  $Z'$ ,  $Z''$ , и  $|Z|$  от  $\epsilon'_2$  при разных частотах приведены на рис. 2.

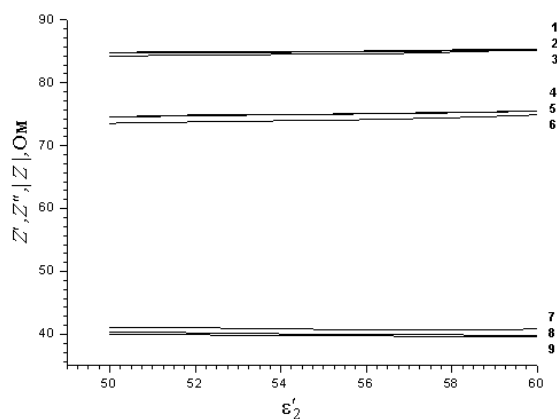


Рис. 2. Зависимости  $Z'$ ,  $Z''$  и  $|Z|$  от действительной части комплексной диэлектрической проницаемости влажной дермы  $\epsilon'_2$ , где 1, 2, 3 – модуль импеданса; 4, 5, 6 – действительная часть импеданса; 7, 8, 9 – мнимая часть импеданса на частотах 800, 950 и 1800 МГц соответственно

Были проведены расчеты зависимостей  $Z'$ ,  $Z''$  и  $|Z|$  зондирующей антенны, расположенной на фиксированной высоте  $h = 0,02$  м, от толщины второго слоя  $T_2$ .

Раздел I. Фундаментальные основы медицинского приборостроения

Проведенные расчеты, результаты которых приведены на рис. 3, показывают, что изменение толщины второго слоя по-разному влияет на значения  $Z'$ ,  $Z''$  и  $|Z|$ .

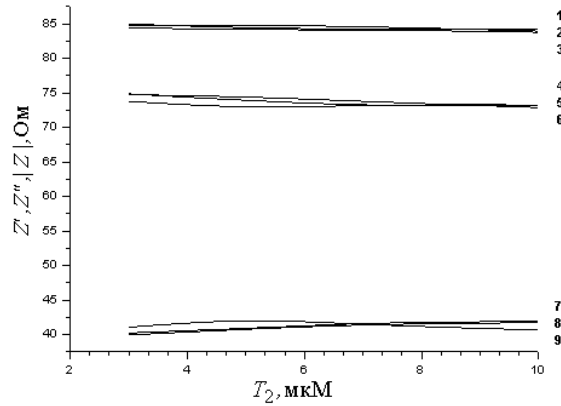


Рис. 3. Зависимости  $Z'$ ,  $Z''$  и  $|Z|$  от толщины слоя влажной дермы, где 1, 2, 3 – модуль импеданса; 6, 5, 4 – действительная часть импеданса; 8, 7, 9 – мнимая часть импеданса на частотах 800, 950 и 1800 МГц соответственно

Результаты моделирования зависимостей  $Z'$ ,  $Z''$  и  $|Z|$  от высоты расположения зондирующей антенны над поверхностью организма  $h$  представлены на рис. 4.

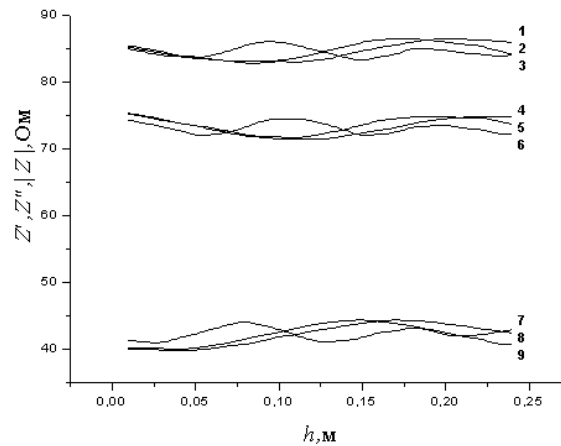


Рис. 4. Зависимости  $Z'$ ,  $Z''$  и  $|Z|$  от высоты расположения над поверхностью организма, где 1, 2, 3 – модуль импеданса; 4, 5, 6 – действительная часть импеданса; 8, 9, 7 – мнимая часть импеданса на частотах 800, 950 и 1800 МГц соответственно

Значение  $h$  варьировало от 0,01 до 0,24 м с шагом, равным 0,01 м. Приведенные на рис. 4 зависимости действительной и мнимой частей импеданса линейной антенны от  $h$  имеют осциллирующий характер. Причем наблюдаются замет-

ные различия этих зависимостей на разных частотах. Видны точки перегиба зависимостей, что позволяет сделать вывод об оптимальных высотах расположения антенн для каждой частоты. Оптимальные высоты расположения антенн, при которых наблюдаются максимумы импеданса, лежат в пределах  $0,3...0,56$  длины волны излучения, на которой работает измерительная система.

В целом результаты проведенных исследований позволяют сделать принципиальный вывод о том, что для неинвазивной диагностики организма человека могут быть использованы четвертьволновые дипольные антенны. При этом инструментальная погрешность измерительной системы должна составлять величину порядка единиц процентов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Волегов К.А., Сидоренко В.М.* Исследование возможности использования линейных дипольных антенн для дистанционного измерения комплексной диэлектрической проницаемости приповерхностных слоев организма. Тезисы V Международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». – СПб., 2009. – С. 217.
2. *Avdochenko B.I., Batsula A.P., Shostak A.S., Kataev S.G., Volegov K.A.* The investigation of the possibility of using linear dipole antennas for dimension of dielectric permittivity of the real soil and layered soil. Proceedings of conference Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals. Sevastopol, Ukraine. – 2008. – P. 261-263.
3. *Дума А.Р., Дорохов В.И., Шостак А.С.* Радиоволновый метод контроля параметров диэлектрических материалов на основе измерения импеданса линейных антенн / Дефектоскопия. – 1986. – № 1. – С. 54-61.
4. *Финкельштейн М.И., Карпухин В.А., Кутев В.А., Метелкин В.Н.* Подповерхностная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1994. – 44 с.
5. *Шостак А.С., Авдоченко Б.И., Загоскин В.В., Круглов И.С., Волегов К.А.* Входной импеданс ультравысокочастотной линейной антенны, расположенной над трехслойной средой / Известия вузов. Физика. – 2005. – С. 71-73.

#### **Сидоренко Владимир Михайлович**

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ».

E-mail: vmsidorenko@mail.ru.

197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5, тел.: (8812)2349071.

Кафедра инженерной защиты окружающей среды, заведующий, профессор, д.т.н.

#### **Sidorenko Vladimir Mikhailovich**

Saint-Petersburg Electrotechnical University «LETI».

E-mail: vmsidorenko@mail.ru.

5, Prof. Popov str., St. Petersburg, 197376, Russia, Phone: (8812)2349071.

Department of Engineering Protection of Environment, head, Prof., Doctor Eng. Sc.

#### **Волегов Кирилл Алексеевич**

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ».

E-mail: Kirillalekseevich@gmail.com.

197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5, тел.: (812)2349071.

Кафедра инженерной защиты окружающей среды, аспирант.

#### **Volegov Kirill Alexeevich**

Saint-Petersburg Electrotechnical University «LETI».

E-mail: Kirillalekseevich@gmail.com.

5, Prof. Popov str., St. Petersburg, 197376, Russia, Phone: (812)2349071.

Department of Engineering Protection of Environment, post-graduate student.