

5. *Shatskiy V.V., Golub V.V., Shatskiy N.V. Kontrol' rabotosposobnosti shirokopolosnykh radiopriemnykh sistem [Health monitoring broadband radio systems], Voprosy radioelektroniki, ser.: OVR [Questions of Radioelectronics, series: OVR], 1998, Issue 18, pp. 210-216.*
6. *Avtorskoe svidetel'stvo 1015315A. Sposob kontrolya fazirovannoy antennoy reshetki [The method of controlling a phased antenna array], B.D. Manuilov, V.V. Shatskiy.*
7. *Patent 2117308. Sposob kontrolya fazirovannoy antennoy reshetki radiopelengatora [The method of controlling a phased antenna array], B.D. Manuilov, N.V. Shatskiy.*
8. *Shatskiy N.V., Golovan' S.A., Strizhak A.G., Shatskiy V.N. Sistema upravleniya tekhnicheskim sostoyaniem maloelementnykh fazirovannykh antennykh reshetok na osnove modeli antennoy reshetki pri nalichii oshibok realizatsii fazy v ee kanalakh [System for control of technical condition of small element phased arrays based on the model of the antenna array if there are errors during the implementation phase in its channels], Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 1 (150), pp. 19-28.*

Статью рекомендовал к публикации д.ф.-м.н., профессор В.И. Корчагин.

**Шацкий Николай Витальевич** – Научно-исследовательский институт физики ЮФУ; e-mail: shatskiy@sfedu.ru; 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194; тел. (факс): 88632975041, 89044443467; старший научный сотрудник; к.т.н.; доцент.

**Головань Сергей Анатольевич** – Факультет военного обучения ЮФУ; e-mail: gsa@sfedu.ru; 344094, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 40; начальник кафедры связи; к.ф.н.

**Стрижак Александр Георгиевич** – заместитель начальника кафедры связи.

**Шацкий Виталий Николаевич** – Физический факультет ЮФУ; e-mail: shik-93@rambler.ru; 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 5; студент 4 курса.

**Shatsky Nikolay Vitalievich** – Research Institute of physics, southern Federal University; e-mail: shatskiy@sfedu.ru; 194, etc. Stachki (Strikes), Rostov-on-Don, 344090, Russia; phone (fax): 88632975041; senior research officer; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Golovan Sergey Anatolievich** – Military faculty of southern Federal University; e-mail: gsa@sfedu.ru; 40, R. Zorge street, Rostov-on-Don, 344094, Russia; the chief of department of communication; cand. of philol. sc.

**Strizhak Alexander Georgievich** – deputy head of the department of communication.

**Shatsky Vitaly Nikolayevich** – The physics department of Southern Federal University; e-mail: shik-93@rambler.ru; 5, R. Zorge street, Rostov-on-Don, 344090, Russia; fourth-year student.

УДК 621.3.091.1

**Н.Н. Кисель, С.Г. Грищенко**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ ДЛЯ ЗАДАЧ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

*Рассмотрена возможность использования для медицинской диагностики информационного параметра степени деполаризации зондирующей волны, прошедшей сквозь ткань с ярко выраженной анизотропией диэлектрических свойств. Отличительной особенностью биологической ткани является ее структурированность, обусловленная наличием большого количества тонких волокон, образующих регулярную систему. Модельная задача представляет собой среду с анизотропными свойствами в виде сетки из резистивных нитей. Расчеты показали, что существует оптимальная частота измерений, на которой обеспечивается наибольшее затухание совпадающей и максимальное значение кроссполаризационной компонент. При этом деполаризация также достигает максимума. Коэффици-*

*цент прохождения на кроссполяризации увеличивается с ростом электропроводности нитей. На согласованной же поляризации, как правило, при этом происходит уменьшение уровня прошедшего поля. Линейное изменение фазы коэффициентов прохождения с ростом частоты можно рассматривать в качестве диагностической информации об удельном сопротивлении биологической ткани. Таким образом, изменения энергетических и фазовых характеристик прошедшей электромагнитной волны, как на согласованной, так и на кроссовой поляризациях, позволяют использовать результаты соответствующих измерений для извлечения информации об отклонениях свойств биосреды от типовых значений.*

*Деполяризация; коэффициенты прохождения; периодическая структура.*

**N.N. Kisel, S.G. Grishchenko**

### **USING THE DEPOLARIZATION EFFECT OF ELECTROMAGNETIC WAVE PROBLEMS FOR MEDICAL DIAGNOSIS**

*The possibility of using the information parameter of the depolarization wave passing through a medium with a pronounced anisotropy of dielectric properties, for medical diagnostics is considered. Structuring is a distinctive ability of biological tissue due to the presence of a large number of thin fibers forming a regular system. A model problem is a medium with anisotropic properties in a grid of resistive threads. The optimal frequency of measurements, on which providing the greatest attenuation matching and maximum cross-polarization component, and the depolarization also reaches a maximum is available. Transmittance at cross-polarization increases with increasing conductivity filaments on an agreed same polarization as generally decreases with the level of the transmitted field. Phase ramp of the transmission coefficients with increasing frequency can be regarded as diagnostic information about the resistivity of the biological tissue. Changes in energy and phase characteristics of the transmitted electromagnetic waves are agreed, and the cross polarizations makes use of the results of the measurements for extracting information about deviations from the typical properties biological tissue.*

*Depolarization; transmission coefficients; periodic structure.*

В зависимости от целей исследования и требуемой степени адекватности возможно построение самых различных моделей реальных биологических тканей [1–19]. В отличие от эксперимента, теоретическое исследование моделей биологической среды позволяет не только проанализировать зависимости коэффициентов прохождения и отражения волны от геометрических и диэлектрических параметров слоев, но и изучить распределение электромагнитного поля в объеме биологической среды, что имеет первостепенное значение при определении максимальных доз облучения (например, при облучении головного мозга, когда есть риск подвергнуть перегреву хрусталик глаза) и позволит дать рекомендации по наиболее эффективному вводу СВЧ-энергии в биологическую ткань, а также провести сравнительный анализ полноты диагностической информации, содержащейся в коэффициентах отражения и прохождения электромагнитных волн.

Некоторые количество дополнительных данных может появиться при исследовании поляризационных свойств зондирующих колебаний, прошедших сквозь ткань с ярко выраженной анизотропией диэлектрических свойств. Отличительной особенностью биологической ткани является ее структурированность, обусловленная наличием большого количества тонких волокон с повышенной электропроводностью, которые образуют более или менее регулярную систему. Наличие новообразований (например, опухолей) приводит к нарушению регулярности, что проявляется в изменении степени анизотропности свойств структуры и, следовательно, в изменении поляризационных характеристик прошедшей электромагнитной волны. В качестве информационного параметра для диагностики принимается степень деполяризации зондирующей волны. Модельная задача представляет собой среду с анизотропными свойствами в виде сетки из резистивных нитей [14–16].

Ограничением модели является малая толщина анизотропной среды, что не позволяет изучить в комплексе энергетические характеристики деполяризованного колебания и относительные изменения фазы поля за счет прохождения волны в толще биологической ткани. Механизмы дифракции волны на регулярной структуре описываются введением продольных токов поляризации в резистивных нитях (аналогах волокон ткани), а поперечные токи из-за ненулевой проводимости среды, конечной длины волокон, их соединения друг с другом учитываются мнимой частью диэлектрической проницаемости заполнения.

Пусть в плоскости  $ZOX$  прямоугольной декартовой системы координат находится сетка из резистивных нитей  $D$ , которые образуют ромбовидные элементы с углом при вершине  $2\alpha$  (рис. 1).

На сетку падает линейно-поляризованная плоская монохроматическая электромагнитная волна, направление распространения которой совпадает с положительным направлением оси  $OY$

$$\vec{\Pi} = \frac{1}{2} [\vec{E}^{\Pi}, \vec{H}^{\Pi*}] = \vec{i}_y \Pi_y,$$

где  $\vec{E}^{\Pi}$ ,  $\vec{H}^{\Pi}$  – векторы напряженности электрического и магнитного полей падающей волны соответственно. Плоскость поляризации падающей волны составляет угол  $\varphi_0$  с осью  $OZ$ . Исследуется среднее значение пространственного распределения амплитуды вектора напряженности электрического поля по фрагменту поверхности волнового фронта прошедшей волны  $Q$ , имеющему форму прямоугольника со сторонами длиной  $L_x$  и  $L_z$ , которые ориентированы соответственно вдоль осей  $OX$  и  $OZ$ . Представим линейно-поляризованную волну  $\vec{E}^{\Pi}$ ,  $\vec{H}^{\Pi}$  в виде суммы двух составляющих с взаимно ортогональной поляризацией: вертикальной  $\vec{E}^{\Pi B}$  и горизонтальной. Поскольку задача является линейной, прохождение сквозь сетку указанных составляющих можно рассматривать независимо. В таком случае ромбовидную сетку можно представить в виде наложения двух решеток из параллельных резистивных нитей с периодом  $l$ , которые наклонены к оси  $OZ$  под углами  $\pm\alpha$  (рис. 2).

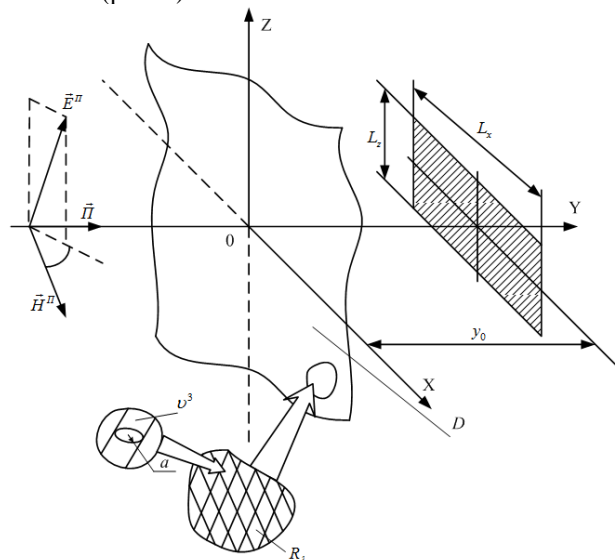


Рис. 1. Модель структурированной ткани

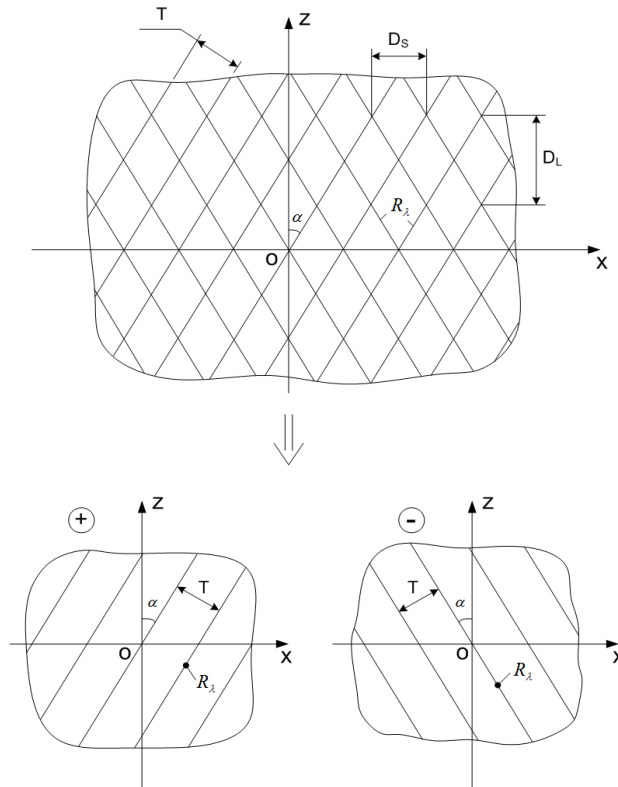


Рис. 2. Представление ромбовидной сетки в виде наложения двух решеток из параллельных нитей

Приведем выражения для коэффициентов прохождения соответственно для параллельной компоненты прошедшего поля  $\vec{E}^{\parallel} = \vec{i}_{\parallel} E^{\parallel}$ :

$$\frac{1}{L_x L_z} \int_Q \vec{E}^{\parallel} dx dz = \vec{i}_{\parallel} E_0 \left[ e^{-ik_y} + \frac{\sin^2 \varphi_0 \sin^2 \alpha}{\xi_s} \int_{\xi=-\xi_s}^{\xi_s} E_0^P(\xi) d\xi + \frac{\cos^2 \varphi_0 \cos^2 \alpha}{\xi_c} \int_{\xi=-\xi_c}^{\xi_c} E_0^P(\xi) d\xi \right]$$

и для перпендикулярной составляющей усредненного прошедшего поля  $\vec{E}^{\perp} = \vec{i}_{\perp} E^{\perp}$ :

$$\frac{1}{L_x L_z} \int_Q \vec{E}^{\perp} dx dz = \vec{i}_{\perp} E_0 \left[ \frac{\sin \varphi_0 \cos \varphi_0 \sin^2 \alpha}{\xi_s} \int_{\xi=-\xi_s}^{\xi_s} E_0^P(\xi) d\xi - \frac{\sin \varphi_0 \cos \varphi_0 \cos^2 \alpha}{\xi_c} \int_{\xi=-\xi_c}^{\xi_c} E_0^P(\xi) d\xi \right],$$

где  $\xi_c = \frac{L_x}{2} \cos \alpha$ ;  $\xi_s = \frac{L_z}{2} \sin \alpha$ ,  $E_0^P(\xi)$  – решение модельной задачи на решетке параллельных нитей [\*]

$$E_0^P = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\pi W_0 \cdot \sum_{p=-\infty}^{\infty} H_0^{(2)}\left(k\sqrt{\eta^2 + (\xi - pl)^2}\right)}{R_\lambda + \pi W_0 \cdot \sum_{p=1}^{\infty} H_0^{(2)}(pkl)}.$$

Результирующие выражения для комплексных коэффициентов прохождения, характеризующих ослабление волны решеткой на согласованной поляризации и возникновение кроссполяризационной составляющей, соответственно равны

$$T^{||,\perp} = \frac{\frac{1}{L_x L_z} \int_Q \bar{E}^{||,\perp} dx dz \Big|_{y=y_0}}{\frac{1}{L_x L_z} \int_Q \bar{E}^{\prime\prime} dx dz \Big|_{y=y_0}};$$

$$T^{||} = 1 + e^{iky_0} \left( \frac{\sin^2 \varphi_0 \sin^2 \alpha}{\xi_s} \int_{\xi=-\xi_s}^{\xi_s} E_0^P(\xi) d\xi + \frac{\cos^2 \varphi_0 \cos^2 \alpha}{\xi_c} \int_{\xi=-\xi_c}^{\xi_c} E_0^P(\xi) d\xi \right);$$

$$T^\perp = e^{iky_0} \sin \varphi_0 \cos \varphi_0 \left( \frac{\sin^2 \alpha}{\xi_s} \int_{\xi=-\xi_s}^{\xi_s} E_0^P(\xi) d\xi + \frac{\cos^2 \alpha}{\xi_c} \int_{\xi=-\xi_c}^{\xi_c} E_0^P(\xi) d\xi \right).$$

Таким образом, параллельная и перпендикулярная составляющие усредненного прошедшего поля, а также коэффициенты прохождения волны по согласованной и кроссовой поляризациям выражены через решение модельной задачи о прохождении волны через решетку параллельных резистивных нитей.

Используемые для моделирования структурированной биологической ткани электропроводящие волокна могут иметь различное поперечное сечение: резистивные нити с круглым сечением и ленты из резистивной пленки. Нити, как правило, характеризуются удельным сопротивлением на единицу длины; характеристикой электропроводности резистивных пленок является удельное сопротивление на единичный квадрат поверхности. В электродинамических задачах с полупрозрачными рассеивателями удобнее оперировать с относительной диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon''$ , причем реально используемые резистивные материалы имеют  $\varepsilon'' \gg \varepsilon'$  и  $\varepsilon' \approx 1$ . С учетом известных из физики соотношений

$$R = \frac{l}{S \cdot \sigma}; \quad \varepsilon'' = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \omega} = \frac{\lambda \cdot W_0}{2\pi} \sigma,$$

где  $R$  – сопротивление по постоянному току волокна длиной  $l$ ;  $S$  – площадь поперечного сечения проводника;  $\sigma$  – удельная объемная проводимость материала;  $W_0$  – характеристическое сопротивление свободного пространства;  $\lambda$  и  $\omega$  – длина волны и частота электромагнитных колебаний, получена следующая формула связи диэлектрических свойств материала с электрофизическими параметрами проводника в виде нити или ленты, характеризуемого удельным сопротивлением на единицу длины:

$$\varepsilon' \approx 1; \quad \varepsilon'' = \frac{W_0}{2\pi R_\lambda \left( S/\lambda^2 \right)},$$

где  $R_\lambda$  – сопротивление образца длиной  $l=\lambda$ . При этом для нити с круглым поперечным сечением получим

$$\varepsilon'' = \frac{W_0}{2R_\lambda \pi^2 \cdot (a/\lambda^2)},$$

где  $a$  – радиус нити,  $a \ll \lambda$ .

Если же проводник представляет ленту с прямоугольным поперечным сечением  $t \times d$ , то

$$S = d \cdot t; \quad R_\lambda = \frac{\lambda}{d} R_\square; \quad \varepsilon'' = \frac{W_0}{2\pi R_\lambda \left( \frac{d \cdot t}{\lambda^2} \right)} = \frac{W_0}{2\pi R_\square \left( \frac{t}{\lambda} \right)},$$

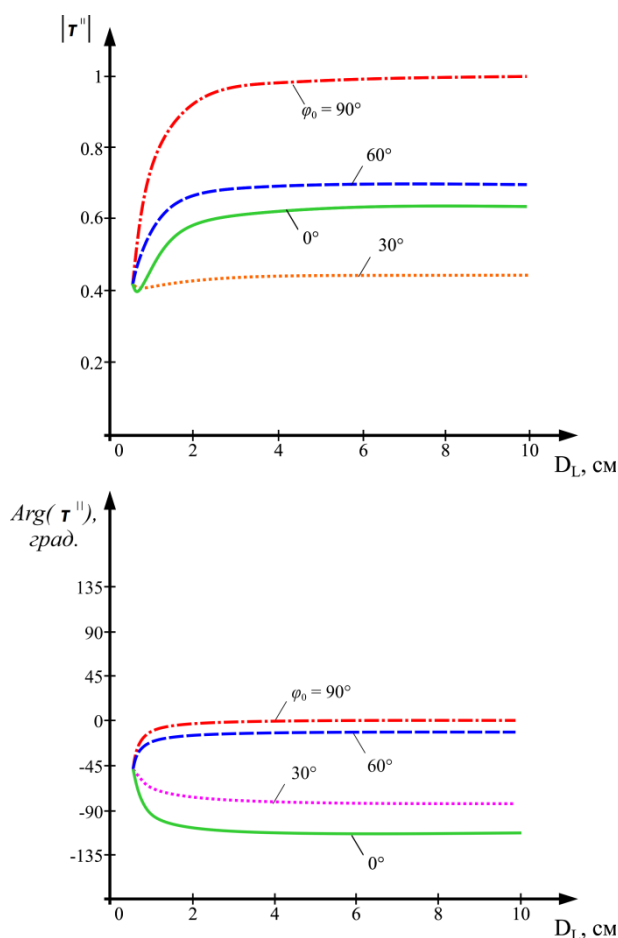
где  $R_\square$  – удельное сопротивление материала ленты на единичный квадрат поверхности.

Ниже представлены зависимости коэффициентов прохождения на согласованной и крессовой поляризациях  $T^{\parallel}$  и  $T^{\perp}$  соответственно при различных геометрических и электрофизических параметрах элементов сетки. Первая серия расчетов проведена при частоте электромагнитных колебаний  $f = 9,3$  ГГц и погонном сопротивлении нитей  $R_0 = 300$  Ом/см. Плоскость наблюдения поля расположена на расстоянии  $y_0 = 5$  см от плоскости сетки, усреднение производится по квадрату со стороной 4 см (тем самым моделируется апертура приемной антенны с приблизительно такой же формой). Размер меньшей диагонали ромбовидной ячейки сетки  $D_s$  равен 0,5 см, размер большей диагонали  $D_l$  изменяется от 0,5 см (случай сетки из квадратных элементов  $0,5 \times 0,5$  см) до 10 см (волокнистая структура); именно эта величина  $D_l$  отложена вдоль горизонтальной оси графиков.

Графики построены при разном наклоне плоскости поляризации к оси OZ, совпадающей с большей диагональю ромбов ( $\varphi_0=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$  – для изучения  $T^{\parallel}$  и  $\varphi_0=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$  и  $55^\circ$  – для  $T^{\perp}$ ; при  $\varphi_0=0^\circ$  и  $90^\circ$  кресс-поляризация составляющая отсутствует из-за симметрии сетки). Из анализа графиков видно, что наибольшее затухание волны на согласованной поляризации наблюдается при совпадении плоскости поляризации с преимущественным направлением волокон, уровень крессполяризованной составляющей достигает максимума в тех случаях, когда угол наклона плоскости поляризации падающей волны по отношению к любому из выделенных направлений (т.е. параллельному или перпендикулярному к диагоналям ромбов) составляет  $45^\circ$ . Модуль коэффициента прохождения на согласованной поляризации во всех случаях довольно значителен ( $\geq 0,4$ ), что объясняется, кроме того, малой толщиной сетки. Коэффициент прохождения по крессполяризованной составляющей также высок. При  $D_l/D_s \geq 10$ , когда элементы сетки достаточно сильно вытянуты вдоль некоторого направления, дальнейший рост этого отношения уже практически не оказывает влияния на условия прохождения волны. Поэтому при исследовании деполяризующих свойств биологических тканей с длинными волокнами в качестве фантома можно использовать решетку из параллельных резистивных нитей. Дополнительная информация содержится в кривых, характеризующих изменения фазы прошедшей волны. От размеров большей диагонали ромба зависит фаза коэффициента прохождения лишь на согласованной поляризации, что объясняется суперпозицией падающего и переизлученного поля с одной и той же поляризационной компонентой. Ненулевое значение фа-

зы  $T^\perp$  объясняется взаимодействием нитей между собой; расчеты, проведенные без учета такого взаимодействия, дают  $Arg(T^\perp) = 0$ . Таким образом, для определения степени вытянутости элементов, составляющих сетку структурированной ткани, можно использовать величину  $Arg(T^\parallel)$  наряду с энергетическими характеристиками прошедшего поля.

Как показали расчеты, существует оптимальная частота измерений, на которой обеспечивается наибольшее затухание совпадающей и максимальное значение кроссполяризационной компонент, при этом деполяризация также достигает максимума. Предварительная оценка такой частоты позволяет сформулировать требования к аппаратному обеспечению диагностического комплекса с тем, чтобы обеспечить максимальное извлечение информации из данных измерений. Кроме того, расчеты показали, что коэффициент прохождения на кросс-поляризации увеличивается с ростом электропроводности нитей. На согласованной же поляризации, как правило, при этом происходит уменьшение уровня прошедшего поля и лишь в области высоких частот возможен рост коэффициента прохождения, когда сопротивление нитей невелико. Отметим, что фаза коэффициентов прохождения с ростом частоты изменяется практически линейно, и этот факт можно рассматривать в качестве диагностической информации об удельном сопротивлении биологической ткани.



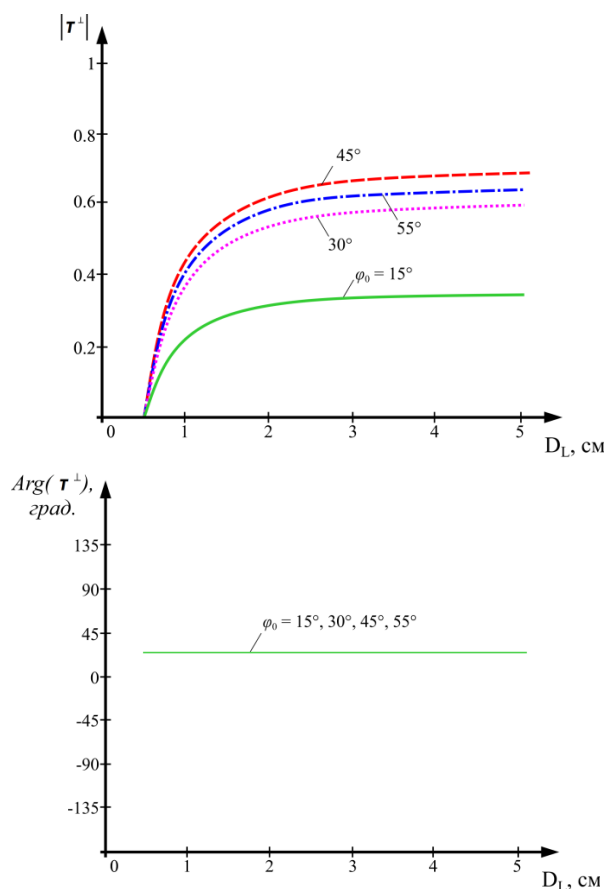


Рис. 3. Зависимости модуля и фазы коэффициента прохождения при различном наклоне плоскости поляризации

Таким образом, проведенные вычисления продемонстрировали, что варьирование электрофизических и геометрических параметров сетчатой модели биологической ткани проявляется в существенном изменении энергетических и фазовых характеристик прошедшей электромагнитной волны, как на согласованной, так и на крессовой поляризациях, что позволяет использовать результаты соответствующих измерений для извлечения информации об отклонениях свойств биосреды от типовых значений, например, из-за развития онкологических заболеваний.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кисель Н.Н., Клименко П.П. Математическое моделирование взаимодействия электромагнитного поля с биологическими средами // Депонированная рукопись ВИНТИ № 1380-B2006 14.11.2006.
2. Костров А.В., Смирнов А.И., Янин Д.В., Стриковский А.В., Пантелеева Г.А. Резонансная ближнепольная СВЧ-диагностика неоднородных сред // Известия РАН. Сер. физическая. – 2005. – Т. 69, № 12. – С. 1716-1720.
3. Kostrov A.V., Smirnov A.I., Srtikovskiy A.V., Yanin D.V. Microwave resonator probe diagnostics of plasma density fluctuations // Problems of atomic science and technology. Series: Plasma Physics. – 2007. – № 1 (13). – P. 209-211.



4. *Костров Ф.В., А.В. Стриковский А.В., Янин Д.В., Смирнов А.И., Загайнов В.Е., Васенин С.А., Дружкова И.Н., Пантелева Г.А., Давоян З.В.* Исследование электродинамических параметров биологических тканей // Альманах клинической медицины. – 2008. – Т. 17. – Ч. 2. – С. 96-99.
5. *Загайнов В.Е., Костров А.В., Стриковский А.В., Янин Д.В. и др.* Способ измерения электродинамических параметров биологических тканей и устройство для его осуществления. Патент №2381008 РФ / Заявка №2008122815, приоритет от 05.06.2008, зарегистрировано 10.02.2010.
6. *Янин Д.В., Костров А.В., Смирнов А.И., Гуцин М.Е., Коробков С.В., Стриковский А.В., Гундорин В.И., Назаров В.В., Стародубцев М.В.* Диагностика параметров плазмы атмосферного давления методом ближнепольного СВЧ-зондирования: Препринт ИПФ РАН № 801. – Нижний Новгород, 2010. – 36 с.
7. *Kostrov A.V., Smirnov A.I., Panteleeva G.A., Strikovskiy A.V., Yanin D.V.* Near-field microwave resonant diagnostics of biological tissues // Microwave & Telecommunication Technology: Proceedings of 15th International Crimean Conference, 13–17 September 2005. – Sevastopol, Ukraine, 2005. – P. 751-752.
8. *Smirnov A.I., Kostrov A.V., Yanin D.V., Strikovskiy A.V., Galka A.G.* Study of inhomogeneous // Microwave & Telecommunication Technology: Proceeding of 21th International Crimean Conference, 10-14 September, 2011. – Sevastopol, 2011. – P. 935-936.
9. *Кисель В.Н., Кисель Н.Н., Алпатова А.В.* Расчет электромагнитного поля в объеме кругового диэлектрического цилиндра с неоднородным включением // Радиотехника и электроника. – 2003. – Т. 48, № 1. – С. 64-69.
10. *Кисель В.Н., Алпатова А.В., Кисель Н.Н.* Эффективный алгоритм расчета электромагнитного поля в неоднородном цилиндре // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2001. – № 1 (19). – С. 28-32.
11. *Алпатова А.В., Кисель Н.Н., Кисель В.Н.* Исследование электромагнитного поля внутри кругового неоднородного цилиндра // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2001. – № 3 (21). – С. 45-46.
12. *Кисель Н.Н., Алпатова А.В., Кисель В.Н.* Разработка и исследование приближенных методов учета тонких покрытий // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2001. – № 3 (21). – С. 46-47.
13. *Кисель Н.Н., Кисель В.Н., Обуховец В.А.* Моделирование взаимодействия СВЧ-колебаний с биологическими структурами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 1995. – № 1 (1). – С. 37-38.
14. *Кисель Н.Н.* Исследование прохождения ЭМВ через модель структурированной биологической ткани в виде решетки из резистивных нитей // Рассеяние электромагнитных волн / Под ред. Б.М. Петрова. – Таганрог: ТРТУ, 2004. – Вып. 13. – С. 87-92.
15. *Кисель В.Н., Кисель Н.Н., Обуховец В.А.* Электродинамическое моделирование биологических сред // Рассеяние электромагнитных волн / Под ред. Б.М. Петрова. – Таганрог: ТРТУ 1995. – Вып. 10. – С. 43-50.
16. *Обуховец В.А., Кисель В.Н., Кисель Н.Н.* Компьютерное и экспериментальное моделирование микроволновой системы экспресс-диагностики патологий // III Междунар. НТК "Физика и радиоэлектроника в медицине и биотехнологии" – ФРЭМБ'98, Материалы 3-й МНТК, 17-19 июня 1998 г. – Владимир: ВлГУ. – С. 200-201.
17. *Alpatova A.V., Kisel N.N., Yukhanov Yu.V.* Excitation task solution for the dielectric cylinder with thin cover // Proceedings of the third International Conference on Antenna Theory and Techniques. – Sevastopol, Ukraine 8-11 September 1999. – P. 87-90.
18. *Грищенко С.Г.* Квазиоптическая электродинамическая модель биологических объектов // Труды Всероссийской науч.-техн. конференции с междунар. участием «Компьютерные технологии в инженерной и экономической деятельности». – Таганрог: ТРТУ, 1997. – С. 80-82.
19. *Грищенко С.Г.* Алгоритмизация задачи прохождения электромагнитной волны в биологической среде // Труды Всероссийской науч.-техн. конференции с междунар. участием «Компьютерные технологии в инженерной и экономической деятельности». – Таганрог: ТРТУ, 1999. – С. 71-72.

## REFERENCES

1. *Kisel' N.N., Klimenko P.P.* Matematicheskoe modelirovanie vzaimodeystviya elektromagnitnogo polya s biologicheskimi sredami [Mathematical modeling of the interaction of electromagnetic fields with biological environments], Deponirovannaya rukopis' VINITI № 1380-B2006 14.11.2006.
2. *Kostrov A.V., Smirnov A.I., Yanin D.V., Strikovskiy A.V., Panteleeva G.A.* Rezonansnaya blizhnepol'naya SVCh-diagnostika neodnorodnykh sred [Resonant near-field microwave diagnostics of inhomogeneous media], *Izvestiya RAN. Ser. fizicheskaya* [Izvestiya of the Russian Academy of Sciences. A series of physical], 2005, Vol. 69, No. 12, pp. 1716-1720.
3. *Kostrov A.V., Smirnov A.I., Strikovskiy A.V., Yanin D.V.* Microwave resonator probe diagnostics of plasma density fluctuations, *Problems of atomic science and technology. Series: Plasma Physics*, 2007, No. 1 (13), pp. 209-211.
4. *Kostrov F.V., A.V. Strikovskiy A.V., Yanin D.V., Smirnov A.I., Zagaynov V.E., Vasenin S.A., Druzhkova I.N., Panteleeva G.A., Davoyan Z.V.* Issledovanie elektrodinamicheskikh parametrov biologicheskikh tkaney [The study of electrodynamic parameters of biological tissues], *Al'manakh klinicheskoy meditsiny* [Anthology of clinical medicine], 2008, Vol. 17, Part 2, pp. 96-99.
5. *Zagaynov V.E., Kostrov A.V., Strikovskiy A.V., Yanin D.V. i dr.* Sposob izmereniya elektrodinamicheskikh parametrov biologicheskikh tkaney i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [The method of measurement of electrodynamic parameters of biological tissues and device for domestic]. Patent №2381008 RF, Zayavka №2008122815, prioritet ot 05.06.2008, zaregistrovano 10.02.2010.
6. *Yanin D.V., Kostrov A.V., Smirnov A.I., Gushchin M.E., Korobkov S.V., Strikovskiy A.V., Gundorin V.I., Nazarov V.V., Starodubtsev M.V.* Diagnostika parametrov plazmy atmosfernogo davleniya metodom blizhnepol'nogo SVCh-zondirovaniya [Diagnostics of plasma parameters atmospheric pressure by the method of near-field microwave sensing]: Preprint IPF RAN № 801. Nizhniy Novgorod, 2010, 36 p.
7. *Kostrov A.V., Smirnov A.I., Panteleeva G.A., Strikovskiy A.V., Yanin D.V.* Near-field microwave resonant diagnostics of biological tissues, *Microwave & Telecommunication Technology: Proceedings of 15th International Crimean Conference, 13–17 September 2005*. Sevastopol, Ukraine, 2005, pp. 751-752.
8. *Smirnov A.I., Kostrov A.V., Yanin D.V., Strikovskiy A.V., Galka A.G.* Study of inhomogeneous, *Microwave & Telecommunication Technology: Proceeding of 21th International Crimean Conference, 10-14 September, 2011*. Sevastopol, 2011, pp. 935-936.
9. *Kisel' V.N., Kisel' N.N., Alpatova A.V.* Raschet elektromagnitnogo polya v ob'eme krugovogo dielektricheskogo tsilindra s neodnorodnym vklyucheniem [The calculation of the electromagnetic field in the volume of a circular dielectric cylinder with inhomogeneous inclusion], *Radiotekhnika i elektronika* [Technology and Electronics], 2003, Vol. 48, No. 1, pp. 64-69.
10. *Kisel' V.N., Alpatova A.V., Kisel' N.N.* Effektivnyy algoritm rascheta elektromagnitnogo polya v neodnorodnom tsilindre [An efficient algorithm for the calculation of electromagnetic fields in inhomogeneous cylinder], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2001, No. 1 (19), pp. 28-32.
11. *Alpatova A.V., Kisel' N.N., Kisel' V.N.* Issledovanie elektromagnitnogo polya vnutri krugovogo neodnorodnogo tsilindra [The study of electromagnetic field in inhomogeneous circular cylinder], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2001, No. 3 (21), pp. 45-46.
12. *Kisel' N.N., Alpatova A.V., Kisel' V.N.* Razrabotka i issledovanie priblizhennykh metodik ucheta tonkikh pokrytiy [Research and development of approximate methods of accounting thin coatings], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2001, No. 3 (21), pp. 46-47.
13. *Kisel' N.N., Kisel' V.N., Obukhovets V.A.* Modelirovanie vzaimodeystviya SVCh-kolebaniy s biologicheskimi strukturami [Simulation of the interaction of microwave oscillations with biological structures], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 1995, No. 1 (1), pp. 37-38.
14. *Kisel' N.N.* Issledovanie prokhozheniya EMV cherez model' strukturirovannoy biologicheskoy tkani v vide reshetki iz rezistivnykh nitey [The study of the passage of the electric wave through the model structured biological tissue in the form of a grid of resistive threads], *Rasseyanie elektromagnitnykh voln* [Scattering of electromagnetic waves]. Taganrog: TRTU, 2004, Issue 13, pp. 87-92.

15. Kisel' V.N., Kisel' N.N., Obukhovets V.A. Elektrodinamicheskoe modelirovaniye biologicheskikh sred [Electrodynamic modeling of biological environments], *Rasseyaniye elektromagnitnykh voln* [Scattering of electromagnetic waves]. Taganrog: TRTU 1995, Issue 10, pp. 43-50.
16. Obukhovets V.A., Kisel' V.N., Kisel' N.N. Komp'yuternoe i eksperimental'noye modelirovaniye mikrovolnovoy sistemy ekspress-diagnostiki patologiy [Computer and experimental modeling of microwave system for the rapid diagnosis of pathologies], III Mezhdunar. NTK "Fizika i radioelektronika v meditsine i biotekhnologii" – FREMB'98, Materialy 3-y MNTK, 17-19 iyunya 1998 g [III international NTC Physics and Radioelectronics in medicine and biotechnology" - FRAMB'98, the Materials of the 3rd MNTK, June 17-19, 1998]. Vladimir: VIGU, pp. 200-201.
17. Alpatova A.V., Kisel' N.N., Yukhanov Yu.V. Excitation task solution for the dielectric cylinder with thin cover, *Proceedings of the third International Conference on Antenna Theory and Techniques*. Sevastopol, Ukraine 8-11 September 1999, pp. 87-90.
18. Grishchenko S.G. Kvaziopricheskaya elektrodinamicheskaya model' biologicheskikh ob'ektov [Quasi-optical electrodynamic model of biological objects], *Trudy Vserossiyskoy nauch.-tekhn. konferentsii s mezhdunar. uchastiem «Komp'yuternye tekhnologii v inzhenernoy i ekonomicheskoy deyatel'nosti»* [Proceedings of all-Russian scientific-technical conference with international participation "Computer technologies in engineering and economic activity"]. Taganrog: TRTU, 1997, pp. 80-82.
19. Grishchenko S.G. Algoritmizatsiya zadachi prokhozheniya elektromagnitnoy volny v biologicheskoy srede [The algorithmic task of passing electromagnetic waves in the biological environment], *Trudy Vserossiyskoy nauch.-tekhn. konferentsii s mezhdunar. uchastiem «Komp'yuternye tekhnologii v inzhenernoy i ekonomicheskoy deyatel'nosti»* [Proceedings of all-Russian scientific-technical conference with international participation "Computer technologies in engineering and economic activity"]. Taganrog: TRTU, 1999, pp. 71-72.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.М. Макаров.

**Кисель Наталья Николаевна** – Южный федеральный университет; e-mail: nnkisel@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371634; кафедра антенн и радиопередающих устройств; профессор; к.т.н.; доцент.

**Грищенко Сергей Григорьевич** – e-mail: dekanat-rtf@tti.sfedu.ru; директор Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета; к.т.н.; доцент.

**Kisel Natalia Nikolayevna** – Southern Federal University; e-mail: nnkisel@sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371634; the department of antennas and radio transmitters; professor; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Grishchenko Sergey Grigor'evich** – e-mail: dekanat-rtf@tti.sfedu.ru; the director of Institute radio engineering system and control Southern Federal University»; cand. of eng. sc.; associate professor.