ДОКЛАДЫ АН ВШ РФ
2014 январь-март № 1(22)

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.396.96: 519.6

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАССЕЯНИЯ ПРИ ЗАДАННОЙ ФАЗОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ

С.С. Беневольский, М.С. Соппа
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (*Сибстрин*)

В работе рассматривается задача восстановления поверхностного импеданса цилиндрического тела по заданной в конечном числе точек фазовой функции рассеянного поля. Кроме того, определяется и амплитудная диаграмма рассеяния (решается «модульная проблема»). Для решения предлагается подход, в котором применяется модифицированное импедансное граничное условие, имеющее тот же асимптотический порядок точности, что и обычно используемое условие Леонтовича. При этом исходная обратная задача в дифференциальной постановке приводится к системе линейных интегральных уравнений. С использованием обращения операторов прямой задачи для идеально проводящей поверхности при различных поляризациях производится переход к линейному интегрооператорному уравнению. Дискретизация осуществляется по схеме метода граничных элементов. В пределах каждого элемента разбиения контура значения всех искомых функций считаются постоянными. Для замыкания задачи вводятся дополнительные переменные – реальные и мнимые компоненты рассеянного поля в точках наблюдения. Полученная система линейных алгебраических уравнений допускает существенное понижение порядка. На завершающем этапе проводится регуляризация путем симметризации и введения регуляризующего слагаемого. Эффективность рассмотренного алгоритма иллюстрируется численным решением задачи в случае восстановления поверхностного распределения импеданса на круговом цилиндре при заданной фазовой диаграмме рассеяния. Преимущества предложенного подхода состоят в том, что полученная система уравнений является линейной и допускающей решение за конечное число шагов, отсутствует проблема выбора начального приближения, обеспечивается возможность построения решения в широком классе комплексно-значных распределений импеданса.

Ключевые слова: интегральное уравнение, обратная задача рассеяния, заданная фазовая функция, метод граничных элементов.

Введение

Разработка антенных устройств с заданными характеристиками излучения и рассеяния требует постановки и решения различных обратных задач электродинамики. Численная реализация конкретных задач и данные расчетов приведены, например, в [1–3]. В работе [4] на основе аналитического подхода проведен синтез импедансной плоскости. При этом требовалось получить отраженную плоскую волну заданного вида, что соответствовало наложению ограничений на фазовые характеристики рассеивателя. В [5, 6] предложен метод решения обратной задачи рассеяния в точной постановке при задании в дальней зоне либо полного комплексного представления значений рассеянного поля, либо его амплитудной диаграммы (решение «фазовой проблемы»). Форма поперечного сечения цилиндрического тела может быть произвольной. В данной работе указанные подходы обобщаются на случай, когда в качестве дополнительной информации об отраженном поле задается его фазовая функция.

1. Постановка задачи

Рассеяние монохроматической электромагнитной волны на замкнутой цилиндрической поверхности (рис. 1) описывается уравнением Гельмгольца:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + k^2 u = 0, \quad \text{вне } S. \tag{1}$$

Рассматривается случай линейной поляризации, когда либо вектор $\vec{E}$, либо вектор $\vec{H}$ параллелен образующей цилиндрической поверхности S. В первом случае $u = E_z(x, y)$ во втором – $u = H_z(x, y)$.

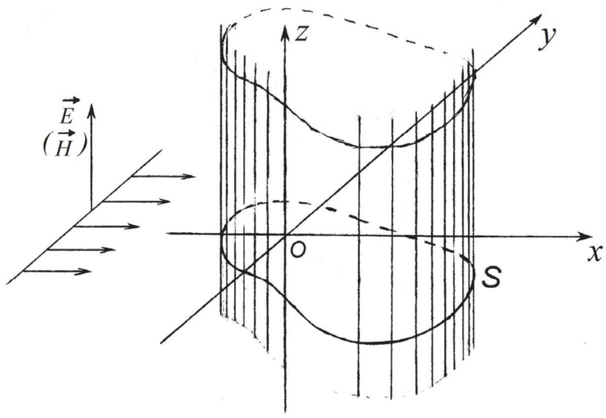

Рис. 1. Схема цилиндрического рассеивателя

На поверхности рассеивателя S ставится модифицированное граничное условие типа Леонтовича [5]:

$$\begin{aligned} & u(x,y) - \frac{W}{ikW_0}\frac{\partial u_0(x,y)}{\partial n} = 0, \ (x,y) \in S, \quad (\text{для случая } \vec{E} \| Oz), \\ & \frac{\partial u(x,y)}{\partial n} - ik\frac{W}{W_0} u_0(x,y) = 0, \ (x,y) \in S, \quad (\text{для случая } \vec{H} \| Oz). \end{aligned} \tag{2}$$

Введены обозначения: $k = \dfrac{2\pi}{\lambda}$, λ – длина волны, W – импеданс поверхности, описывающий процессы, возникающие в поверхностном слое проводника при взаимодействии с ним электромагнитного поля, $W_0 = 120\pi$ – волновое сопротивление свободного пространства, u_0 – решение в случае идеально проводящей поверхности S. Для рассеянного поля u^s требуется выполнение асимптотического условия излучения на бесконечности

$$\lim_{R\to\infty} \sqrt{R}\left(\frac{\partial u^s}{\partial R} - iku^s\right) = 0,$$

$u^s = u - u_1$, u_1 – известное поле падающей волны.

Обратная задача восстановления граничного импеданса W дополнительно требует задания информации о результатах измерения рассеянного электромагнитного поля. Рассмотрим случай, когда эта информация представляет собой фазовую характеристику $\theta(\varphi)$, заданную в конечном наборе точек дальнего поля: $\theta(\varphi_i) = \theta_{gi}$, $i = 1,...,m$, φ – полярный угол. Начало координат в данной задаче связано с зондируемым объектом. Критерий приближения к заданной функции понимается в среднеквадратичном смысле:

$$\sum_{i=1}^{m} \left| \theta(\varphi_i) - \theta_{gi} \right|^2 \to \mathbf{min} . \tag{3}$$

2. Переход к интегральным уравнениям

Аналогично [5] приведем обратную задачу (1–3) к системе интегральных уравнений. Рассмотрим интегральное представление для значения поля в любой точке области D, внешней к поверхности S:

$$u(M) = \frac{1}{2\pi} \int_S \left(\frac{\partial u(P)}{\partial n} g(M,P) - u(P) \frac{\partial g(M,P)}{\partial n} \right) dS_P + u_1(M), \; M \in D , \tag{4}$$

здесь $g(M,P) = \frac{\pi i}{2} H_0^{(1)}(k r_{M,P})$ – фундаментальное решение уравнения Гельмгольца, $H_0^{(1)}$ функция Ханкеля 1-го рода нулевого порядка. Опуская точку M на поверхность S и учитывая граничное условие (2), в случае когда $\vec{H} \| Oz$, получаем интегральное уравнение:

$$\frac{1}{2} u(M) + \frac{1}{2\pi} \int_S \frac{\partial g(M,P)}{\partial n} u(P) dS_P =$$

$$= \frac{i}{2\pi} \int_S \frac{kW}{W_0} u_0(P) g(M,P) dS_P + u_1(M), \quad M \in S . \tag{5}$$

Введем в рассмотрение операторы решения прямой задачи при различных линейных поляризациях:

$$A\eta = \frac{1}{2}\eta + \frac{1}{2\pi} \int_S \eta \frac{\partial g}{\partial n} dS, \qquad B\eta = \frac{i}{2\pi} \int_S \eta g dS .$$

Тогда уравнение (5) можно переписать в виде:

$$A u - \frac{k}{W_0} B u_0 W = u_1 .$$

Обращая оператор решения прямой задачи A, получаем представление для функции u:

$$u = A^{-1} \frac{k}{W_0} B u_0 W + A^{-1} u_1 .$$

Так как $A^{-1}u_1 = u_0$ (где функция u_0 – решение прямой задачи в случае идеально проводящей поверхности, $W = 0$), то

$$u = u_0 + \frac{k}{W_0} A^{-1} B u_0 W \; . \tag{6}$$

Соотношения (2, 4) при условии, что точка M принадлежит набору точек, в которых производилось измерение рассеянного поля, позволяют записать:

$$\frac{1}{2\pi} \int_S \frac{ikW(P)}{W_0} u_0 g(M,P) dS_P -$$

$$- \frac{1}{2\pi} \int_S u(P) \frac{\partial g(M,P)}{\partial n} dS_P = u^s(M) , \qquad M \in S_R , \tag{7}$$

S_R – круговой контур радиуса R, (R достаточно велико). Подставляя соотношение (6) в (7), приходим к интегрооператорному уравнению

$$\frac{k}{2\pi W_0} \int_S (ig(M,P) - \frac{\partial g(M,P)}{\partial n} A^{-1} B) \, u_0 W \, dS_P =$$

$$= u^s(M) + \frac{1}{2\pi} \int_S \frac{\partial g(M,P)}{\partial n} u_0 \, dS_P , \qquad M \in S_R . \tag{8}$$

Поскольку согласно постановке обратной задачи нам известна информация о фазовой функции рассеянного поля в точках наблюдения, то полученное уравнение (8) необходимо дополнить следующими соотношениями, связывающими мнимые и вещественные части рассеянного поля между собой:

$$\mathrm{Im} u_i^s = t_i \, \mathrm{Re} u_i^s , \qquad i = 1,...,m , \qquad t_i = tg(\theta_{gi}) . \tag{9}$$

3. Дискретизация

Проведем дискретизацию задачи с использованием метода граничных элементов: поперечное сечение цилиндрической поверхности S заменяется замкнутой ломаной линией, состоящей из N отрезков – панелей. На каждой из панелей в контрольных точках (точках коллокации) требуется выполнение граничного условия (2). Группы соседних панелей могут объединяться в сегменты S_i, $i = 1,...,K$, значения всех искомых функций считаются постоянными в пределах каждого сегмента. Предположим, что параметры дискретизации удовлетворяют следующему условию: $m = 2K$. Дополнительно вводятся переменные $\mathrm{Re} u_i^s$, $\mathrm{Im} u_i^s$, поэтому искомыми являются $3m$ вещественных параметров: реальные и мнимые части функции распределения импеданса на поверхности тела, а также реальные и мнимые части рассеянного поля в точках наблюдения:

$$\mathbf{W} = (\mathrm{Re} W_1, \mathrm{Im} W_1, ..., \mathrm{Re} W_K, \mathrm{Im} W_K) , \quad \mathbf{u}^s = (\mathrm{Re} u_1^s, \mathrm{Im} u_1^s, ..., \mathrm{Re} u_m^s, \mathrm{Im} u_m^s) .$$

В результате проведенной дискретизации приходим к системе линейных алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} &R_1\mathbf{W} = \mathbf{u}_1 + \mathbf{b}_1\,, \\ &R_2\mathbf{W} = \mathbf{u}_2 + \mathbf{b}_2\,, \\ &\operatorname{Im}\mathbf{u}_1 = T_1 \operatorname{Re}\mathbf{u}_1\,, \\ &\operatorname{Im}\mathbf{u}_2 = T_2 \operatorname{Re}\mathbf{u}_2\,. \end{aligned} \tag{10}$$

Здесь $\mathbf{u}_1 = (u_1^s,...,u_{m/2}^s)$, $\mathbf{u}_2 = (u_{m/2+1}^s,...,u_m^s)$, диагональные матрицы T_1 и T_2 имеют в качестве диагоналей векторы из условия (9) $(t_i,\ i = 1,...,m/2)$ и $(1/t_i,\ i = m/2+1,...,m)$, а квадратные комплекснозначные матрицы R_1, R_2 и компоненты вектора правой части $(\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2)$ возникают при дискретизации интегралов в интегрооператорном уравнении (8).

Первое уравнение системы (10) позволяет получить представление для $\mathbf{W}$:

$$\mathbf{W} = R_1^{-1}(\mathbf{u}_1 + \mathbf{b}_1)\,. \tag{11}$$

Тогда следствием второго уравнения является соотношение

$$R_2 R_1^{-1}\mathbf{u}_1 - \mathbf{u}_2 = \mathbf{b}_2 - R_2 R_1^{-1}\mathbf{b}_1\,,$$

которое можно переписать в вещественном виде:

$$P_1\mathbf{a}_1 + P_2\mathbf{a}_2 = \mathbf{b}_3\,, \tag{12}$$

где

$$P_1 = \begin{pmatrix} -\operatorname{Im} R_3 & -E \\ \operatorname{Re} R_3 & 0 \end{pmatrix}, \qquad P_2 = \begin{pmatrix} \operatorname{Re} R_3 & 0 \\ \operatorname{Im} R_3 & -E \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{b}_3 = (\operatorname{Re}(\mathbf{b}_2 - R_3\mathbf{b}_1),\ \operatorname{Im}(\mathbf{b}_2 - R_3\mathbf{b}_1))\,, \qquad R_3 = R_2 R_1^{-1}\,,$$

$$\mathbf{a}_1 = (\operatorname{Im}\mathbf{u}_1, \operatorname{Re}\mathbf{u}_2)\,, \qquad \mathbf{a}_2 = (\operatorname{Re}\mathbf{u}_1, \operatorname{Im}\mathbf{u}_2)\,.$$

Используя последние два уравнения системы (10), исключаем из (12) переменную $\mathbf{a}_2$, в результате чего приходим к уравнению

$$A\mathbf{a}_1 = \mathbf{b}_3\,. \tag{13}$$

Квадратная вещественная матрица A имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} -\operatorname{Im} R_3 + \operatorname{Re} R_3 T_1^{-1} & -E \\ \operatorname{Re} R_3 + \operatorname{Im} R_3 T_2 & -T_2 \end{pmatrix}.$$

Данная система допускает дальнейшее понижение порядка путем умножения левой и правой части на прямоугольную матрицу $T_3 = \begin{pmatrix} T_2 & -E \end{pmatrix}$:

$$T_3 A \operatorname{Im}\mathbf{u}_1 = T_3\mathbf{b}_3\,. \tag{14}$$

Матрица системы $T_3 A$ имеет порядок (m/2 × m/2). Здесь необходимо учитывать, что задача определения поверхностного импеданса W по значениям как полной, так и фазовой диаграммы рассеянного поля относится к классу некорректно поставленных задач. Для устранения этой проблемы проводится симметризация путем умножения обеих частей системы на транспонированную матрицу и вводится регуляризирующее слагаемое нулевого порядка по А.Н. Тихонову [7] с параметром регуляризации α.

Найдя решение системы (14) в виде вектора $\operatorname{Im}\mathbf{u}_1^*$, определяем рассеянное поле $\mathbf{u}_1^* = (T_1^{-1}\operatorname{Im}\mathbf{u}_1^*, \operatorname{Im}\mathbf{u}_1^*)$, затем благодаря соотношению (11) вычисляется искомое распределение импеданса

$$\mathbf{W}^* = R_1^{-1}(\mathbf{u}_1^* + \mathbf{b}_1).$$

Для вычисления остальных компонент рассеянного поля в точках наблюдения из (13) получаем

$$\operatorname{Re}\mathbf{u}_2^* = T_2^{-1}\left((\operatorname{Re}R_3 + \operatorname{Im}R_3 T_2)\operatorname{Im}\mathbf{u}_1^* - \operatorname{Im}(\mathbf{b}_2 - R_3\mathbf{b}_1)\right),$$

$$\operatorname{Im}\mathbf{u}_2^* = T_2 \operatorname{Re}\mathbf{u}_2^*.$$

Теперь, чтобы завершить решение «модульной проблемы», необходимо привести формулы для функции модуля рассеянного поля:

$$\left|\mathbf{u}^{*s}(\varphi_i)\right| = \begin{cases} \sqrt{(\operatorname{Re}\mathbf{u}_1^*)_i^2 + (\operatorname{Im}\mathbf{u}_1^*)_i^2}, & i = 1,\dots,m/2, \\ \sqrt{(\operatorname{Re}\mathbf{u}_2^*)_{i-m/2}^2 + (\operatorname{Im}\mathbf{u}_2^*)_{i-m/2}^2}, & i = m/2+1,\dots,m. \end{cases} \tag{15}$$

4. Результаты вычислительного эксперимента

Для тестирования и методической проверки предложенного алгоритма были выполнены следующие расчеты. В качестве рассеивателя был взят круговой цилиндр радиуса $r = \lambda/(2\pi)$. Его фазовая диаграмма рассеяния в случае идеально проводящей поверхности приведена на рис. 2 (сплошная линия). Далее было взято распределение поверхностного импеданса, удовлетворяющее соотношению

$$kW/W_0 = 0{,}1 + 0{,}1i, \tag{16}$$

достаточно простому в качестве теста, но в то же время подчеркивающему возможность отыскания импеданса в классе комплекснозначных функций.

Для него с помощью решения прямой задачи найдена фазовая диаграмма рассеяния, показанная на рис. 2 штриховой линией, которая была использована для формирования дополнительных данных

$$\theta(\varphi_i) = \theta_{gi},\ i = 1,\dots,m,$$

в дальнем поле при постановке обратной задачи (1–3). Фазовая диаграмма рассеянного поля задавалась в $m = 12$ точках наблюдения, расположенных на окружности большого радиуса $R = 100r$.

Численное решение обратной задачи завершалось решением системы линейных алгебраических уравнений (14). При значении параметра $\alpha = 10^{-6}$ ошибка восстановления импеданса при сравнении с (16) не превышала полпроцента. Для построения амплитудной диаграммы рассеяния использовались соотношения (15). Соответствующие функции модуля рассеянного поля приведены на рис. 3.

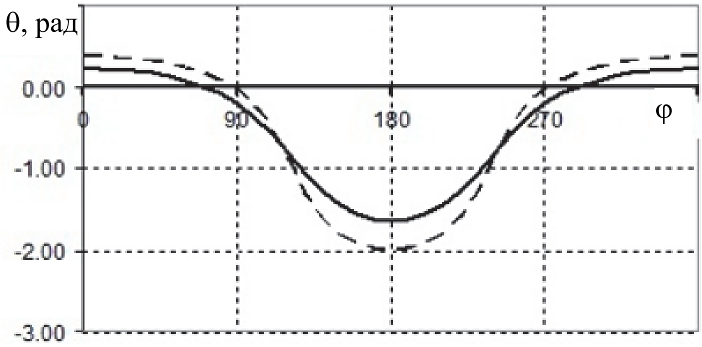

Рис 2. Зависимость фазовой функции от полярного угла:

штриховая линия – цилиндр с импедансной поверхностью;
сплошная линия – идеально проводящий цилиндр

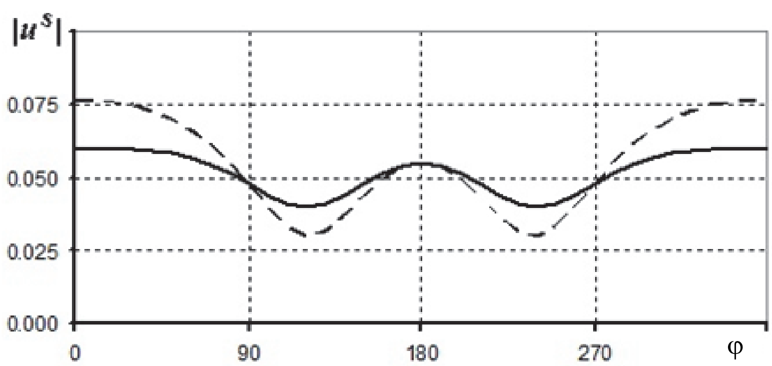

Рис 3. Зависимость модуля рассеянного поля от полярного угла:

штриховая линия – цилиндр с импедансной поверхностью;
сплошная линия – идеально проводящий цилиндр

Заключение

В работе получено численное решение «модульной проблемы» – обратной задачи восстановления импеданса цилиндрической поверхности при дополнительном условии в виде заданной фазовой функции рассеянного поля. Предложенный метод включает в себя переход к линейному интегрооператорному уравнению с применением модифицированного граничного условия типа Леонтовича. При дискретизации для получения замкнутой системы введены дополнительные переменные, сделан переход к вещественному виду. Выполнено понижение порядка и регуляризация, позволяющая получить приемлемую точность решения. Определяется функция модуля рассеянного поля. К преимуществам подхода относятся: линейность системы уравнений, получение решения за конечное число шагов, возможность построения решения в широком классе комплекснозначных распределений импеданса. Эффективность представленного алгоритма подтверждена результатами расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] **Сивов А.Н., Чуприн А.Д., Шатров А.Д.** Об одном методе решения обратных задач рассеяния в электродинамике // *Радиотехника и электроника*. – 1996. – Т. 41. – № 1. – С. 35–39.

[2] **Еремин Ю.А., Свешников А.Г.** Задачи распознавания и синтеза в теории дифракции // *Журнал вычислительной математики и математической физики*. – 1992. – Т. 32. – № 10. – С. 1594–1607.

[3] **Павельев А.Г.** Аналитический метод решения обратных задач и регуляризация // *Электромагнитные волны и электронные системы*. – 1998. – Т. 3. – № 3. – С. 12–19.

[4] **Юханов Ю.В.** Анализ и синтез импедансной плоскости // *Радиотехника и электроника*. – 2000. – Т. 45. – № 4. – С. 404–409.

[5] **Соппа М.С.** Численное решение задачи восстановления формы для системы импедансных поверхностей // *Известия вузов. Радиофизика*. – 1999. – Т. 42. – № 5. – С. 452–458.

[6] **Соппа М.С.** Математическое моделирование СВЧ-диагностики импедансных поверхностей при неизвестной фазе отраженного сигнала // *Прикладная механика и техническая физика*. – 2008. – Т. 49. – № 4. – С. 146–150.

[7] **Тихонов А.Н., Арсенин В.Я.** Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979. – 288 с.

INVERSE ELECTROMAGNETIC SCATTERING PROBLEM WITH THE GIVEN PHASE FUNCTION

Benevolskij S.S., Soppa M.S.

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (*SibStrin*), *Novosibirsk, Russia*

We consider the problem of recovery of cylindrical body surface impedance with the phase function of the scattered field given in a finite number of points. The amplitude scattering diagram is also determined , i.e. “the module problem” is solved. In this paper we propose a method in which a modified impedance boundary condition having the same asymptotic order of accuracy as the commonly used Leontovich condition is used. In this case the initial inverse problem in differential formulation can be reduced to a system of linear integral equations. Using the inversion of operators corresponding to the direct problem for an ideally conducting surface at different polarizations we obtain a linear integro – operator equation. The problem discretization is performed by the boundary element method. The values of all required functions are considered to be constant within each of the contour element. To close the problem additional variables, i.e. the real and imaginary components of the scattered field at the observation points are introduced. The resulting system of linear algebraic equations allows significant reduction of the order. At the final stage, regularization by symmetrization and the introduction of a regularizing term is executed. The effectiveness of the proposed algorithm is illustrated by a numerical solution of the problem in the case of reconstructing the surface impedance distribution on a circular cylinder with a given phase scattering diagram in far-field points. Advantages of the proposed approach are that the resulting system of equations is linear and admits a solution in a finite number of steps and effective regularization. There is no problem of choosing initial approximation; this approach also makes it possible to provide solutions in a wide range of complex impedance distributions.

Keywords: integral equation; inverse scattering problem; given phase function; boundary element method.

REFERENCES

[1] **Sivov A.N., Chuprin A.D., Shatrov A.D.** Ob odnom metode resheniya obratnyih zadach rasseyaniya v elektrodinamike [On the inverse problem solution method in electrodynamics]. *Radiotekhnika i elektronika*, 1996, no. 1, pp. 35–39.

[2] **Eremin Yu.A., Sveshnikov A.G.** Zadachi raspoznavaniya i sinteza v teorii difraktsii [Recognition and synthesis problems in the diffraction theory]. *Zhurnal vyichislitelnoy matematiki i matematicheskoy fiziki*, 1992, no. 10, pp. 1594–1607.

[3] **Pavelyev A.G.** Analiticheskiy metod resheniya obratnyih zadach i regulyarizatsiya [An analytical method for inverse problems solving and regularization]. *Elektromagnitnyie volny i elektronnyie systemy*, 1998, no. 3, pp. 12–19.
[4] **Yuhanov Yu.V.** Analiz i sintez impedansnoy ploskosti [Analysis and synthesis of impedance plane]. *Radiotehnika i elektronika*, 2000, no. 4, pp. 404–409.
[5] **Soppa M.S.** Chislennoe reshenie zadachi vosstanovleniya formyi dlya sistemyi impedansnyih poverhnostey [Numerical solution of the problem of shape recovery for a system of impedance surfaces]. *Izvestiya vuzov. Radiofizika,* 1999, no.5, pp. 401–407.
[6] **Soppa M.S.** Matematicheskoe modelirovanie SVCh-diagnostiki impedansnyih poverhnostey pri neizvestnoy faze otrazhennogo signala [Mathematical modeling of the microwave – diagnostics of impedance surfaces for the reflected signal of an unknown phase]. *Prikladnaya mehanika i tehnicheskaya fizika*, 2008, no. 4. pp. 146–150.
[7] **Tikhonov A.N., Arsenin V.Ya.** *Metodi resheniya nekorrektnyih zadach* [Methods for solving of ill-posed problems]. Moscow, Nauka Publ., 1979, 288 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Беневольский Сергей Сергеевич – родился в 1987 году, окончил Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) (НГАСУ (Сибстрин), с 2010 года аспирант кафедры физики НГАСУ (Сибстрин). Область научных интересов: численное решение обратных задач рассеяния электромагнитных волн. (Адрес: 630008, Россия, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113. Email: soppa@ngs.ru)

Benevolskij Sergey Sergeevich (b. 1987) graduated from the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (SibStrin) (NSUACE (SibStrin), Post-graduate student of Physics Department of the NSUACE (SibStrin). Area of research: numerical solution of inverse electromagnetic waves scattering problems. (Address: 113, Leningradskaya St., Novosibirsk, 630008, Russia. Email: soppa@ngs.ru)

Соппа Михаил Сергеевич – родился в 1953 году, д-р физ.-мат. наук, профессор, чл.-корр. САН ВШ, заведующий кафедрой физики Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). Область научных интересов: разработка и применение численных методов и компьютерного моделирования в прямых и обратных задачах электро- и аэродинамики. Опубликовано 86 научных работ. (Адрес: 630008, Россия, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113. Email: soppa@ngs.ru)

Soppa Mikhail Sergeevich (b. 1953) – Doctor of science (Phys.&Math.), Professor, Corresponding Member of Siberian Branch of the Russian Higher Education Academy of Sciences, Head of Physics Department of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (SibStrin). His research interests are currently focused on numerical methods and computer simulation development and application in direct and inverse electro- and aerodynamics problems. He is author of 86 scientific papers. (Address: 113, Leningradskaya St., Novosibirsk, 630008, Russia. Email: soppa@ngs.ru)

Статья поступила 29 января 2014 г.
Received 29 Jan. 2014

To Reference:

Benevolskij S.S., Soppa M.S. Obratnaya zadacha elektromagnitnogo rasseyaniya pri zadannoi fazovoi kharakteristike [Inverse electromagnetic scattering problem with the given phase function]. *Doklady Akademii Nauk Vysshei Shkoly Rossiiskoi Federatsii* [*Reports of Russian Higher Education Academy of Sciences*], 2014, no. 1(22), pp. 7–15. (in Russ.).