

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МАТЕРИАЛЫ
Международной научной конференции
«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ,
ТЕХНИЧЕСКИХ
И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

Томск, 28–30 мая 2020 г.

Под общей редакцией
кандидата технических наук И.С. Шмырина

Томск
Издательство Томского государственного университета
2020

ББК 22.17–22.19
УДК 519.2, 519.7, 519.8
Т78

**ЧЛЕНЫ КОЛЛЕГИИ, РУКОВОДИТЕЛИ НАУЧНЫХ РЕДАКЦИЙ
ПО НАПРАВЛЕНИЯМ:**

д-р техн. наук, проф. **А.А. Глазунов** – научная редакция «Механика, математика»; д-р техн. наук, проф. **Э.Р. Шрагер** – научная редакция «Механика, математика»; д-р техн. наук, проф. **А.М. Горцев** – научная редакция «Информатика и кибернетика»; д-р техн. наук, проф. **С.П. Сущенко** – научная редакция «Информатика и кибернетика»; д-р физ.-мат. наук, проф. **В.Г. Багров** – научная редакция «Физика»; д-р физ.-мат. наук, проф. **А.И. Потекаев** – научная редакция «Физика»; д-р биол. наук, проф. **С.П. Кулижский** – научная редакция «Биология»; д-р геол.-минер. наук, проф. **В.П. Парначев** – научная редакция «Науки о Земле, химия»; канд. хим. наук, доц. **Ю.Г. Слизов** – научная редакция «Науки о Земле, химия»; д-р филол. наук, проф. **Т.А. Демешкина** – научная редакция «История, филология»; д-р ист. наук, проф. **В.П. Зиновьев** – научная редакция «История, филология»; д-р экон. наук, проф. **В.И. Канов** – научная редакция «Юридические и экономические науки»; д-р юрид. наук, проф. **В.А. Уткин** – научная редакция «Юридические и экономические науки»; д-р ист. наук, проф. **Э.И. Черняк** – научная редакция «Философия, социология, психология, педагогика, искусствознание»; д-р психол. наук, проф. **Э.В. Галажинский** – научная редакция «Философия, социология, психология, педагогика, искусствознание»

НАУЧНАЯ РЕДАКЦИЯ ТОМА:

д-р техн. наук, проф. **А.М. Горцев**, д-р техн. наук, проф. **С.П. Сущенко**, д-р физ.-мат. наук, доц. **Ю.Г. Дмитриев**, д-р физ.-мат. наук, доц. **С.П. Моисеева**, д-р физ.-мат. наук, проф. **В.В. Конев**, д-р техн. наук, проф. **А.Ю. Матросова**, д-р техн. наук, проф. **А.А. Назаров**, д-р техн. наук, проф. **К.И. Лившиц**, канд. техн. наук **С.А. Останин**, канд. физ.-мат. наук **А.С. Морозова**, канд. техн. наук **А.С. Шкуркин**, канд. техн. наук **И.С. Шмырин**.

Т78 Труды Томского государственного университета. – Т. 305. Серия физико-математическая: Математическое и программное обеспечение информационных, технических и экономических систем : материалы Международной научной конференции. Томск, 28–30 мая 2020 г. / под общ. ред. И.С. Шмырина. – Томск : Издательство Томского государственного университета, 2020. – 322 с.

ISBN 978-5-94621-970-9

Сборник содержит материалы Международной научной конференции «Математическое и программное обеспечение информационных, технических и экономических систем», проводившейся 28–30 мая 2020 г. на базе Института прикладной математики и компьютерных наук Томского государственного университета. Материалы сгруппированы в соответствии с работавшими на конференции секциями.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов.

УДК 539.3.004
ББК 22,25.22.251.22.62

ISBN 978-5-94621-970-9

© Томский государственный университет, 2020

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАССЕЯНИЯ НА ТОНКИХ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ИДЕАЛЬНО ПРОВОДЯЩЕМ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ЦИЛИНДРАХ

Дмитренко А.Г., Балашова О.М.

Томский государственный университет
dmitr.tsu.202@mail.ru, balashovajkz@mail.ru

Введение

Значительный интерес для исследователей представляет изучение рассеяния электромагнитных волн в резонансной частотной области на структурах, состоящих из одного или нескольких тонких цилиндров конечной длины. Этот интерес обусловлен необходимостью решения таких практически важных проблем как проблемы радиолокационной заметности, идентификации объектов, оценки рассеяния диэлектрическими или металлическими цилиндрическими деталями различных геометрически сложных тел и др.

Под тонким цилиндром обычно понимается цилиндрическое тело, поперечные размеры которого много меньше его длины и длины падающей волны. Анализ имеющейся в распоряжении авторов литературы показывает, что известны работы, например [1–4], в которых рассмотрено рассеяние электромагнитной волны на одиночном тонком прямолинейном идеально проводящем цилиндре, а также работы, например [5–7], в которых рассмотрено рассеяние электромагнитной волны на одиночном тонком однородном прямолинейном диэлектрическом цилиндре. Некоторый вклад в решение проблемы рассеяния электромагнитной волны на тонких цилиндрах внесен и работами одного из авторов данной статьи. Так, например, в работе [8] рассмотрено рассеяние на структурах, состоящих из нескольких тонких прямолинейных идеально проводящих цилиндров, в работе [9] предложен новый метод решения задачи электромагнитного рассеяния на тонком диэлектрическом цилиндре. Однако в известной литературе до сих пор отсутствуют работы, посвященные рассеянию на структурах, состоящих как из идеально проводящих, так и из диэлектрических тонких цилиндров, кроме работ авторов данной статьи, например [10–11]. В работе [10] предложен численный метод решения задачи электромагнитного рассеяния на структурах, состоящих из одного тонкого диэлектрического цилиндра и одного тонкого идеально проводящего цилиндра. В работе [11] этот метод применен к анализу рассеяния электромагнитной волны на структуре, состоящей из параллельных идеально проводящего и диэлектрического цилиндров.

Данная работа продолжает цикл работ авторов, посвященных электромагнитному рассеянию на структурах, содержащих как тонкие идеально проводящие цилиндры, так и тонкие диэлектрические цилиндры. В ней рассмотрено рассеяние электромагнитной волны на структуре, состоящей из двух тонких ортогональных цилиндров, один из которых является диэлектрическим, а другой – идеально проводящим. Такая структура является моделью реальной ситуации, когда прямолинейная тонкая металлическая антенна размещена на тонкой диэлектрической цилиндрической подставке и ориентирована вдоль поверхности Земли.

1. Постановка задачи и ее решение

Геометрия задачи показана на рис. 1. Рассматривается стационарная (зависимость от времени выбрана в виде $e^{-i\omega t}$) задача дифракции электромагнитного поля $\vec{E}_0, \vec{H}_0$ на

структуре, состоящей из двух тонких прямолинейных ортогональных цилиндров, один из которых является диэлектрическим, а другой – идеально проводящим. Диэлектрический цилиндр имеет длину l_d , радиус r_d и характеризуется электродинамическими параметрами ε_i, μ_i . Идеально проводящий цилиндр имеет длину l_p , радиус r_p . Для цилиндров выполняются условия $2r_d \ll \lambda$, $r_d \ll l_d$; $2r_p \ll \lambda$, $r_p \ll l_p$, где λ – длина падающей волны. Декартова система координат $Oxyz$ выбрана таким образом, что ее начало O совпадает с серединой осевой линии диэлектрического цилиндра, а ось z направлена вдоль его осевой линии. Идеально проводящий цилиндр расположен так, что его осевая линия ориентирована вдоль оси x . Структура размещена в однородной среде D_e с электродинамическими параметрами ε_e, μ_e . Требуется найти рассеянное поле $\{\vec{E}_e, \vec{H}_e\}$ в среде D_e .

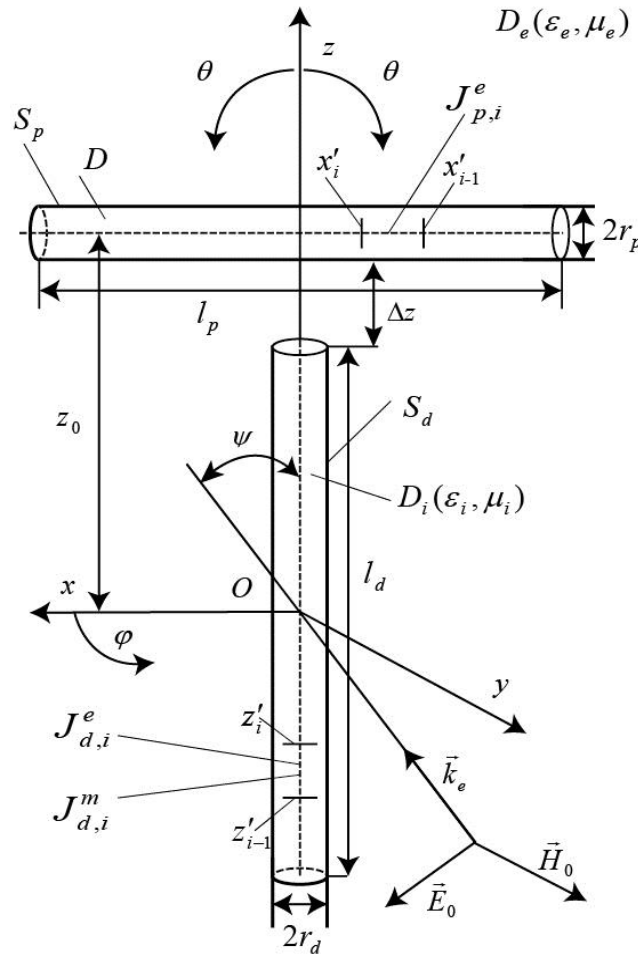


Рис. 1. Геометрия задачи

Кроме поля $\{\vec{E}_e, \vec{H}_e\}$ в D_e , существует поле $\{\vec{E}_i, \vec{H}_i\}$ внутри диэлектрического цилиндра (в области D_i). Поля $\{\vec{E}_e, \vec{H}_e\}$ и $\{\vec{E}_i, \vec{H}_i\}$ должны удовлетворять уравнениям Максвелла

$$\text{rot } \vec{E}_e = i\omega\mu_e \vec{H}_e, \text{ rot } \vec{H}_e = -i\omega\varepsilon_e \vec{E}_e \text{ в } D_e, \quad (1)$$

$$\text{rot } \vec{E}_i = i\omega\mu_i \vec{H}_i, \text{ rot } \vec{H}_i = -i\omega\varepsilon_i \vec{E}_i \text{ в } D_i, \quad (2)$$

граничным условиям

$$\left[\vec{n}_i, (\vec{E}_i - \vec{E}_e) \right] = \left[\vec{n}_i, \vec{E}_0 \right], \left[\vec{n}_i, (\vec{H}_i - \vec{H}_e) \right] = \left[\vec{n}_i, \vec{H}_0 \right] \quad (3)$$

на поверхности S_d диэлектрического цилиндра и граничным условиям

$$\left[\vec{n}, \vec{E}_e \right] = -\left[\vec{n}, \vec{E}_0 \right] \quad (4)$$

на поверхности S_p идеально проводящего цилиндра.

Кроме того, поле $\{\vec{E}_e, \vec{H}_e\}$ в D_e должно удовлетворять условиям излучения

$$\left[\sqrt{\varepsilon_e} \vec{E}_e, \vec{R}/R \right] + \sqrt{\mu_e} \vec{H}_e = O(R^{-1}), \left[\sqrt{\mu_e} \vec{H}_e, \vec{R}/R \right] - \sqrt{\varepsilon_e} \vec{E}_e = O(R^{-1}), \quad R \rightarrow \infty. \quad (5)$$

В выражениях (3)–(5) $\vec{n}_i$ – единичный вектор нормали к поверхности S_d диэлектрического цилиндра; $\vec{n}$ – единичный вектор нормали к поверхности S_p идеально проводящего цилиндра; $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$; $[\vec{a}, \vec{b}]$ – векторное произведение. Отметим, что при записи граничных условий (3)–(4) учтено, что поле во внешней среде D_e представлено в виде суммы рассеянного $\vec{E}_e, \vec{H}_e$ и возбуждающего $\vec{E}_0, \vec{H}_0$ полей.

Метод решения задач рассеяния на структурах, содержащих один тонкий идеально проводящий цилиндр и один тонкий диэлектрический цилиндр, предложен и подробно описан в работе [10]. Основные идеи этого метода следующие. Поле $\{\vec{E}_e, \vec{H}_e\}$ во внешней среде D_e представлено в виде суммы полей неизвестных вспомогательных токов, непрерывно распределенных вдоль осей цилиндров. Поле $\{\vec{E}_i, \vec{H}_i\}$ внутри диэлектрического цилиндра представлено в виде суммы полей пар элементарных электрических диполей с неизвестными дипольными моментами, дискретным образом расположенных на вспомогательной поверхности, охватывающей диэлектрический цилиндр и также имеющей форму цилиндра. Такие представления для полей удовлетворяют уравнениям Максвелла (1)–(2) и условиям излучения (5). Для того, чтобы удовлетворить граничным условиям (3)–(4), необходимо соответствующим образом выбрать неизвестные распределения осевых токов и неизвестные дипольные моменты.

Для этого первоначально осевая линия диэлектрического цилиндра разбивается на N_d участков, а осевая линия идеально проводящего цилиндра – на N_p участков, в пределах которых величины вспомогательных токов можно считать постоянными; на рис.1 это отрезки $[z'_{i-1}, z'_i]$ и $[x'_{i-1}, x'_i]$, соответственно. Токи на этих участках $J_{d,i}^e$, $J_{d,i}^m$ и $J_{p,i}^e$ называются «элементами токов». Далее, с использованием метода коллокаций, то есть путем поточечного удовлетворения граничным условиям (3)–(4) в точках j_d на поверхности S_d диэлектрического цилиндра и в точках j_p на поверхности S_p идеально проводящего цилиндра получают систему линейных алгебраических уравнений для определения неизвестных элементов токов и дипольных моментов. После решения этой системы необходимые компоненты рассеянного поля получаются с использованием представления для поля $\{\vec{E}_e, \vec{H}_e\}$ во внешней среде D_e .

С учетом специфики рассматриваемой задачи этим методом получены следующие выражения для компонент рассеянного поля в дальней зоне в сферической системе координат:

$$E_{e,\theta}(M) = \sqrt{\frac{\mu_e}{\epsilon_e}} H_{e,\theta}(M) = \frac{e^{ik_e R}}{R} D_\theta(\theta, \varphi) + O(R^{-2}),$$

$$E_{e,\varphi}(M) = -\sqrt{\frac{\mu_e}{\epsilon_e}} H_{e,\varphi}(M) = \frac{e^{ik_e R}}{R} D_\varphi(\theta, \varphi) + O(R^{-2}).$$
(6)

Компоненты диаграммы рассеяния $D_\theta(\theta, \varphi)$ и $D_\varphi(\theta, \varphi)$ определяются выражениями

$$D_\theta(\theta, \varphi) = \frac{i\omega\mu_e}{4\pi} \left[-\sin\theta \sum_{i=1}^{N_d} J_{d,i}^e \int_{z'_{i-1}}^{z'_i} e^{-ik_e z' \cos\theta} dz' + \right.$$

$$\left. + \cos\theta \left\{ \sin\theta \sin^2\varphi \sin(\theta - \varphi) + \cos\varphi \right\} e^{-ik_e z_0 \cos\theta} \sum_{i=1}^{N_p} J_{p,i}^e \int_{x'_{i-1}}^{x'_i} e^{-ik_e x' \sin\theta \cos\varphi} dx' \right],$$
(7)

$$D_\varphi(\theta, \varphi) = \frac{k_e}{4\pi} \left[i \sin\theta \sum_{i=1}^{N_d} J_{d,i}^m \int_{z'_{i-1}}^{z'_i} e^{-ik_e z' \cos\theta} dz' - \sin\varphi e^{-ik_e z_0 \cos\theta} \sum_{i=1}^{N_p} J_{p,i}^e \int_{x'_{i-1}}^{x'_i} e^{-ik_e x' \sin\theta \cos\varphi} dx' \right],$$

где z_0 – соответствующая координата середины осевой линии идеально проводящего цилиндра; θ и φ – общепринятые угловые сферические координаты; элементы токов $J_{d,i}^e$, $J_{d,i}^m$ ($i = \overline{1, N_d}$), $J_{p,i}^e$ ($i = \overline{1, N_p}$), являющиеся кусочно-постоянной аппроксимацией осевых токов цилиндров (рис. 1), находятся из системы линейных алгебраических уравнений

$$\left[\vec{n}_i^{j_d}, (\vec{E}_i^{j_d} - \vec{E}_e^{j_d}) \right] = \left[\vec{n}_i^{j_d}, \vec{E}_0^{j_d} \right], \quad \left[\vec{n}_i^{j_d}, (\vec{H}_i^{j_d} - \vec{H}_e^{j_d}) \right] = \left[\vec{n}_i^{j_d}, \vec{H}_0^{j_d} \right], \quad j_d = \overline{1, L_d},$$

$$E_{e,x}^{j_p} = -E_{0,x}^{j_p}, \quad j_p = \overline{1, L_p},$$
(8)

где j_d – точки коллокации на поверхности S_d диэлектрического цилиндра, их количество равно L_d ; j_p – точки коллокации на поверхности S_p идеально проводящего цилиндра, их количество равно L_p ; $\vec{n}_i^{j_d}$ – единичный вектор нормали в точках коллокации j_d ; $\vec{E}_e^{j_d}, \vec{H}_e^{j_d}$, $\vec{E}_i^{j_d}, \vec{H}_i^{j_d}$ и $\vec{E}_0^{j_d}, \vec{H}_0^{j_d}$ – компоненты внешнего, внутреннего и возбуждающего полей в этих же точках; $E_{e,x}^{j_p}, E_{0,x}^{j_p}$ – ориентированные вдоль оси x составляющие рассеянного и возбуждающего полей в точках коллокации j_p на поверхности идеально проводящего цилиндра. Для вычисления компонент векторов $\vec{E}_e^{j_d}, \vec{H}_e^{j_d}$, $\vec{E}_i^{j_d}, \vec{H}_i^{j_d}$, а также компоненты $E_{e,x}^{j_p}$ использованы выражения (6) и (7) работы [10].

2. Описание компьютерной программы

Изложенные выше соотношения реализованы в виде программы для расчета компонент рассеянного поля и контроля точности получаемых результатов по критерию невязки граничных условий. Программа написана в среде Mathcad14, блок-схема программы представлена на рис. 2–4.

В блоке 1 вводятся геометрические параметры структуры и параметры метода, а также строится система (8). К геометрическим параметрам относятся параметры l_p, r_p и l_d, r_d , $\epsilon'_i = \epsilon_i / \epsilon_e$, $\mu'_i = \mu_i / \mu_e$, характеризующие идеально проводящий и диэлектрический цилиндры, расстояние Δz между цилиндрами, а также координаты y_0, z_0 осевой линии идеально проводящего цилиндра. К параметрам метода относятся параметры, определяющие разбиение осевых линий цилиндров, количества точек коллокации на поверхностях цилиндров и другие вспомогательные параметры. Подробная схема блока 1 показана на рис. 3.

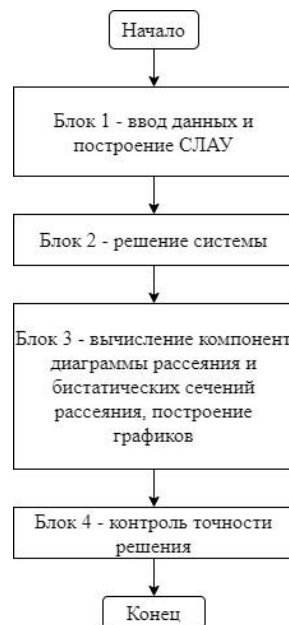


Рис. 2. Общая блок-схема компьютерной программы

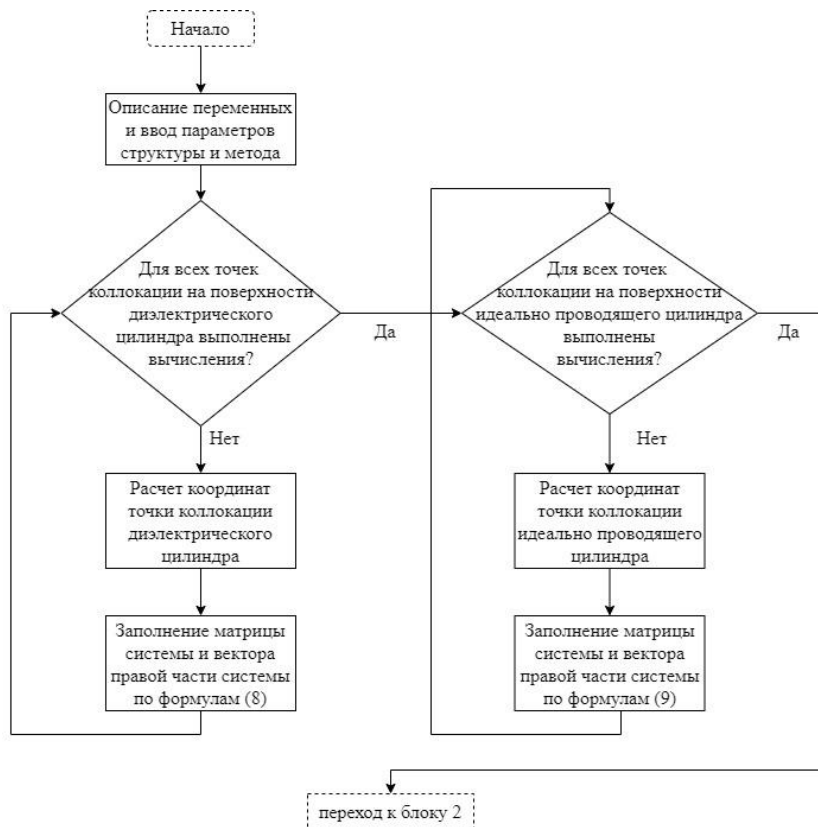


Рис. 3. Блок 1 – ввод данных и построение СЛАУ

В блоке 2 выполняется поиск решения СЛАУ методом сопряженных градиентов. Подробная схема блока 2 показана на рис. 4.

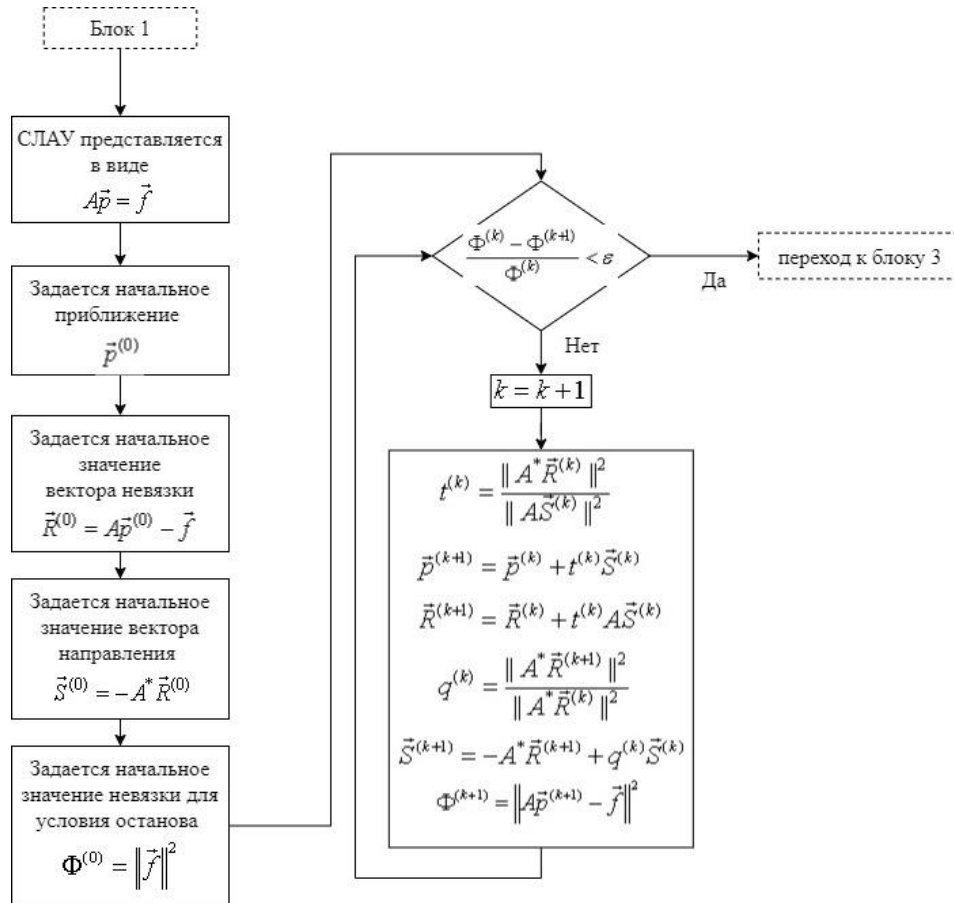


Рис. 4. Блок 2 – решение системы

Блок 3 осуществляет вычисление компонент диаграммы рассеяния по формулам (7), а также бистатистических сечений рассеяния по формуле

$$\frac{\sigma}{\lambda^2} = \frac{1}{\pi} \left(|D_\theta(\theta, \varphi)|^2 + |D_\varphi(\theta, \varphi)|^2 \right). \quad (9)$$

Результаты расчетов представляются на экране в виде таблиц и графиков.

Блок 4 осуществляет контроль точности решения задачи по величине относительной нормы невязки граничных условий $\Delta = \sqrt{\frac{\Phi'}{\Phi_0}}$, где Φ' – норма невязки системы (8) в точках, промежуточных по отношению к точкам коллокации, а Φ_0 – норма правых частей системы (8) в этих же точках.

3. Численные результаты

Разработанная программа была использована для сравнения получаемых с ее помощью результатов с известными результатами, а также для расчета сечений рассеяния (9) конкретных структур. Ниже приведены некоторые результаты этих исследований.

Рис. 5 иллюстрирует сравнение результатов расчета, выполненных предлагаемым методом, с результатами других авторов. Поскольку решенная нами задача другими авторами ранее не решалась, мы не имеем возможности сравнить наши результаты с такими же результатами других авторов для рассматриваемой задачи. Однако при малых значениях относительной диэлектрической проницаемости диэлектрического цилиндра получаемые нами результаты должны быть очень близки соответствующим ре-

результатам для одиночного идеально проводящего цилиндра. Последняя задача является решенной, и результаты ее решения содержатся, в частности, в книге [4]. Это обстоятельство и было использовано для контроля правильности получаемых нами результатов. По оси абсцисс на рис. 5 отложен угол θ в градусах (см. рис. 1), по оси ординат – сечение рассеяния, нормированное на квадрат длины волны. Кривая 1 – сечение рассеяния для одиночного идеально проводящего цилиндра, взятое из работы [4], кривая 2 – сечение рассеяния для рассматриваемой структуры при относительной диэлектрической проницаемости диэлектрического цилиндра $\epsilon'_i = 4$ в E -плоскости (плоскости xOz).

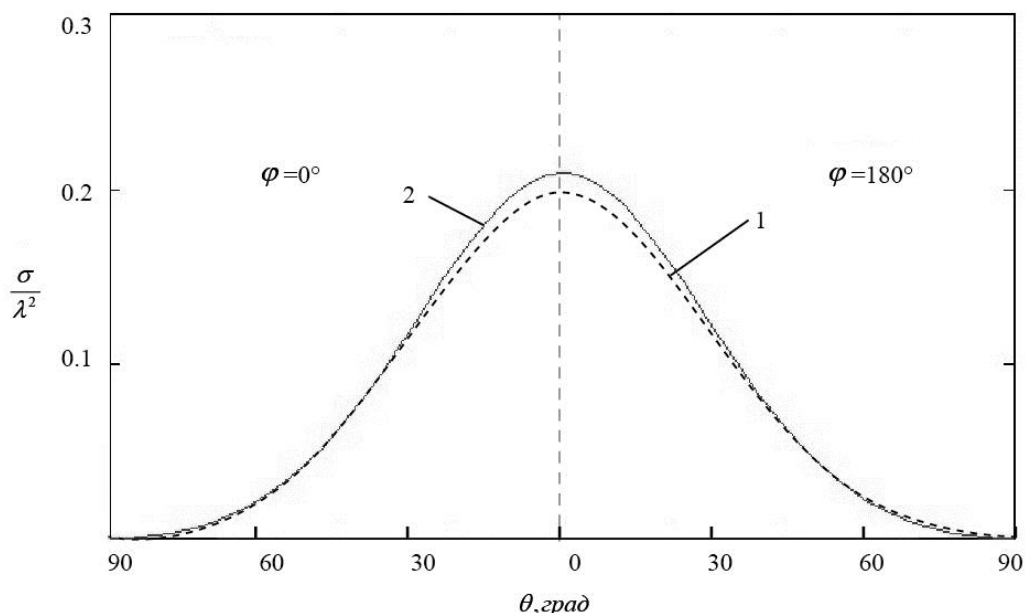


Рис. 5. Сравнение бистатистических сечений рассеяния, полученных предлагаемым методом, с сечениями рассеяния, представленными в работе [4]. Кривая 1 – сечение рассеяния, взятое из работы [4], кривая 2 – сечение рассеяния, полученное предлагаемым методом при $\epsilon'_i = 4$.

При получении кривой 2 длина и радиус идеально проводящего цилиндра выбраны такими же, как в работе [4]: $k_e l_p = 4.71$ ($l_p = 0.75\lambda$), $k_e r_p = 0.03$; длина диэлектрического цилиндра $k_e l_d$ выбрана также равной 4.71; радиус $k_e r_d$ диэлектрического цилиндра выбран равным 0.1; расстояние между цилиндрами $k_e \Delta z = 3$ ($\Delta z = 0.48\lambda$). Предполагается, что структура возбуждается плоской волной, падающей вдоль оси z , вектор $\vec{E}_0$ падающей волны направлен вдоль оси x .

Как показывает рис. 5, результаты, полученные предложенным методом, близки к результатам работы [4]. Это говорит как о правильности самого метода решения задачи, так и о правильности выбора параметров метода.

На рис. 6 показаны полученные в результате выполненных расчетов зависимости сечений обратного рассеяния исследуемой структуры от угла ψ падения плоской волны при различных длинах идеально проводящего цилиндра. Параметры диэлектрического цилиндра предполагались фиксированными и равными $\epsilon'_i = 20$, $k_e l_d = 4.71$, радиусы цилиндров были выбраны одинаковыми $k_e r_d = k_e r_p = 0.1$, расстояние между цилиндрами было взято $k_e \Delta z = 3$. Плоская волна падает на структуру так, что векторы $\vec{k}_e$ и $\vec{E}_0$ лежат в плоскости xz , ψ – угол между положительным направлением оси z и вектором $\vec{k}_e$ (см. рис. 1). Угол падения отложен на оси абсцисс, а по оси ординат отложено сече-

ние обратного рассеяния, нормированное на квадрат длины волны. Кривая 1 на рис. 6 относится к случаю, когда длина идеально проводящего цилиндра $k_e l_p = 3.14$ ($l_p = 0.5\lambda$), кривая 2 – к случаю, когда $k_e l_p = 4.71$ ($l_p = 0.75\lambda$), кривая 3 – к случаю, когда $k_e l_p = 6.28$ ($l_p = \lambda$).

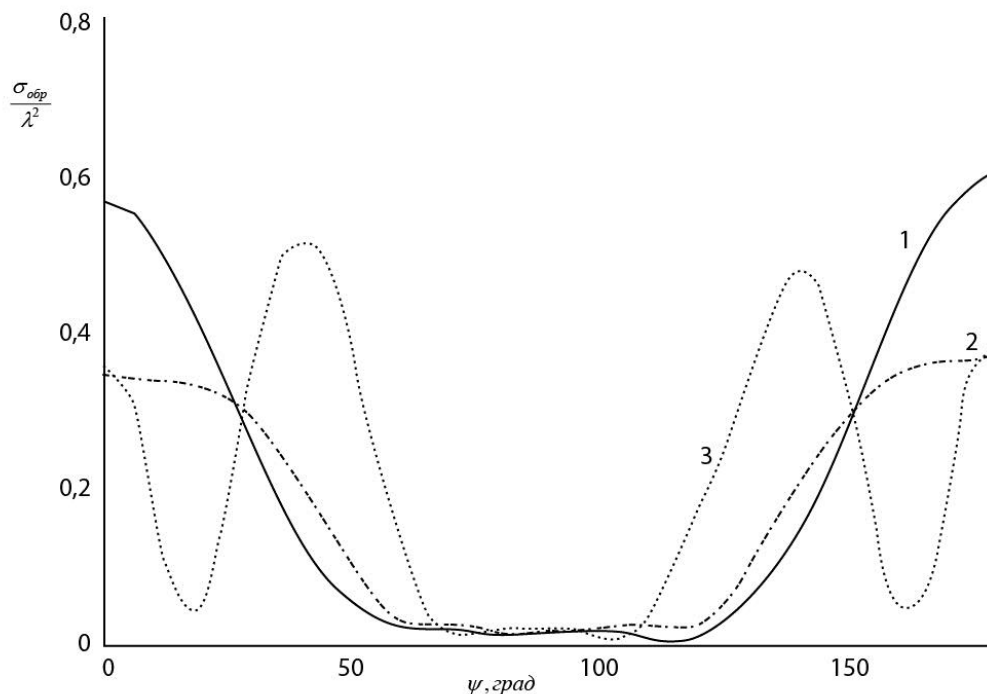


Рис. 6. Сечения обратного рассеяния при различных значениях длины идеально проводящего цилиндра. Кривая 1 соответствует длине $k_e l_p = 3.14$, кривая 2 – длине $k_e l_p = 4.71$, кривая 3 – длине $k_e l_p = 6.28$.

Заключение

Таким образом, в данной работе представлены алгоритм и программа расчета электромагнитного рассеяния на структуре, состоящей из двух ортогональных тонких цилиндров, один из которых является диэлектрическим, а другой – идеально проводящим. Созданная программа позволяет определять характеристики рассеяния широкого класса структур, отличающихся взаимным расположением цилиндров и их геометрическими и электродинамическими параметрами. Подробно исследована одна из возможных структур. Осуществлено сравнение полученных результатов с известными, исследована зависимость сечений обратного рассеяния от длины идеально проводящего цилиндра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tavis M.T. Total radar cross section of thin wires at all angles of incidence // Journal of Applied Physics. 1975. Vol. 46, No. 7. P. 3213-3215.
2. Hatamzadeh-Varmazyar S. New numerical method for determining the scattered electromagnetic fields from thin wires // Progress in Electromagnetic Research B. 2008. Vol. 3. P. 207-218.
3. Bogerd J.C., Tijhuis A.G., Klaasen J.J.A. Electromagnetic excitation of a thin wire: a travelling – wave approach // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1998. Vol. 46, No. 8. P. 1202-1211.
4. Bowman J.J., Senior T.B.A., Uslengli P.L.E. Electromagnetic and acoustic scattering by simple shapes. Amsterdam: North-Holland Publ. Company, 1969. P.488.
5. Yan W.Z., Du Y., Wu H., Liu D.W. EM scattering from a long dielectric circular cylinder // Progress in Electromagnetics Research, PIER 85. 2008. P. 39-67.
6. Santalla del Rio V., Abalde-Lima L., Christodoulou C.G. Electromagnetic scattering from vegetation cylindrical components // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2015. Vol. 12, No. 4. P. 751-755.

7. Sarabandi K., Senior T.B.A. Low-frequency scattering from cylindrical structures at oblique incidence // IEEE Transactions on GRS. 1990. Vol. 28, No. 5. P. 879-885.

8. *Дмитренко А.Г.* Численный метод исследования электромагнитного рассеяния структурами, содержащими тонкие проводники / *Дмитренко А.Г., Колчин В.А.* // Радиотехника и электроника. 2003. Том. 48, № 5. С. 545-551.

9. *Дмитренко А.Г.* Решение задачи электромагнитного рассеяния на тонком диэлектрическом цилиндре методом вспомогательных источников / *Дмитренко А.Г., Гольцварг Е.П.* // Радиотехника и электроника. 2011. Том. 56, № 5. С. 600-607.

10. *Дмитренко А.Г.* Численный метод решения задачи электромагнитного рассеяния на тонких параллельных идеально проводящем и диэлектрическом цилиндрах / *Дмитренко А.Г., Балашова О.М.* // Материалы VI Международной молодежной научной конференции «Математическое и программное обеспечение информационных, технических и экономических систем». Томск, 24-26 мая 2018 г.

11. *Дмитренко А.Г.* Программное обеспечение для решения задачи электромагнитного рассеяния на тонких параллельных идеально проводящем и диэлектрическом цилиндрах / *Дмитренко А.Г., Балашова О.М.* // Материалы VII Международной молодежной научной конференции «Математическое и программное обеспечение информационных, технических и экономических систем». Томск, 23-25 мая 2019 г.

UX В НОВЫХ КАНАЛАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПРИЛОЖЕНИЕМ: ГОЛОСОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ЧЕРЕЗ ЧАТ

Киреев Д.А., Литвинова Н.И., Попов Н.С., Морозова А.С., Шкуркин А.С.

Томский государственный университет

dima30051999@mail.ru, natgraham1864@gmail.com, popovns99@mail.ru

Введение

В настоящее время наблюдается рост популярности голосового взаимодействия с приложениями среди пользователей. Голосовые ассистенты от ряда крупных компаний всё сильнее закрепляются в жизни массового потребителя. Смарт-динамики или умные колонки, позволяющие упростить управление системами умного дома, сильнее подогрели интерес людей к голосовым помощникам.

1 Постановка задачи

Рассмотрим функционал банковских голосовых помощников, так как они расширяют потенциальный функционал ассистента в областях, связанных с финансами. Одной из основных проблем работы пользователя с ассистентами является скудный набор команд, которые они могут выполнять.

Задачей работы является рассмотрение имеющихся решений на рынке голосовых банковских помощников, а также расширение спектра возможного взаимодействия пользователя с приложениями, создание ряда паттернов для управления и навигации при помощи управления голосом и командами через чат.

2. Направления развития

Рассмотрим три области, что выделяются среди вариантов развития данного направления [1]. Первая из них, это финансовая информация. На данный момент, огромное количество финансовых учреждений становятся источником информации о рынке или перспективных фирмах. Яркий этому пример банк Morgan Stanley, который создал голосовое приложение, что позволяет клиентам легко получить доступ к их информации о рынке.

Вторая из рассматриваемых областей – банковское дело. Эта область является одной из наиболее распространенных для использования голосовых технологий в финансах. Сюда относятся: осуществление банковских операций, проверка остатка на счете, получение платежной информации, оплата счетов и т.д. Ярким примером данного направления развития является Erica от Bank of America [2], имеющая широкий спектр функций для помощи клиенту в работе с личными финансами.

И заключительная область – консультативная. В финансовой индустрии голосовые ассистенты начали использоваться для автоматизации задач обслуживания клиента и