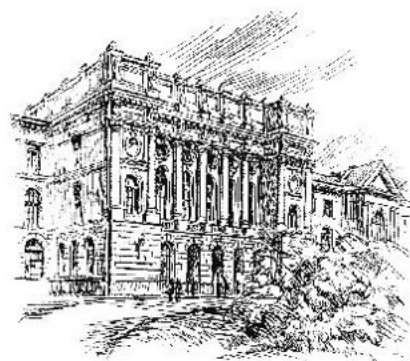


1(140)/2012



Научно-технические ведомости СПбГПУ

ИНФОРМАТИКА.
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ.
УПРАВЛЕНИЕ

Санкт-Петербург. Издательство Политехнического университета

Министерство образования и науки РФ
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕДОМОСТИ СПбГПУ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Алферов Ж.И., академик РАН; *Васильев Ю.С.*, академик РАН (председатель);
Костюк В.В., академик РАН; *Лопота В.А.*, чл.-кор. РАН;
Окрепилев В.В., академик РАН; *Рудской А.И.*, чл.-кор. РАН;
Патон Б.Е., академик НАН Украины и РАН; *Федоров М.П.*, академик РАН;
Фортов В.Е., академик РАН.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Васильев Ю.С., академик РАН (главный редактор); *Арсеньев Д.Г.*, д-р техн. наук, профессор;
Бабкин А.В., д-р экон. наук, профессор (зам. гл. редактора);
Боронин В.Н., д-р техн. наук, профессор; *Глухов В.В.*, д-р экон. наук, профессор;
Дегтярева Р.В., д-р ист. наук, профессор; *Иванов А.В.*, д-р техн. наук, профессор;
Иванов В.К., д-р физ.-мат. наук, профессор; *Козловский В.В.*, д-р физ.-мат. наук, профессор;
Рудской А.И., чл.-кор. РАН (зам. гл. редактора); *Юсупов Р.М.*, чл.-кор. РАН.

СЕРИЯ “ИНФОРМАТИКА. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ. УПРАВЛЕНИЕ”

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ СЕРИИ

Юсупов Р.М., чл.-кор. РАН – председатель;
Абрамов С.М., чл.-кор. РАН;
Воеводин В.В., чл.-кор. РАН;
Заборовский В.С., д-р техн. наук, профессор;
Козлов В.Н., д-р техн. наук, профессор;
Фотиади А.Э., д-р физ.-мат. наук, профессор;
Черноруцкий И.Г., д-р техн. наук, профессор.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

Юсупов Р.М., чл.-кор. РАН – председатель;
Арсеньев Д.Г., д-р техн. наук, профессор – зам. председателя;
Бабкин А.В., д-р экон. наук, профессор – зам. председателя;
Пышкина Г.А., технический секретарь;
Антонов В.И., д-р техн. наук, профессор;
Голландцев Ю.А., д-р техн. наук, профессор;
Карпов Ю.Г., д-р техн. наук, профессор;
Коротков А.С., д-р техн. наук, профессор;
Макаров С.Б., д-р техн. наук, профессор;
Устинов С.М., д-р техн. наук, профессор;
Цикин И.А., д-р техн. наук, профессор;
Шкодырев В.П., д-р техн. наук, профессор;
Клавдиев В.Е., канд. техн. наук, доцент.

Журнал выходит под научно-методическим руководством Российской академии наук с 1995 года.

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Журнал издается в пяти сериях:
Наука и образование;
Физико-математические науки;
Экономические науки;
Информатика, телекоммуникации, управление;
Гуманитарные и общественные науки.

Журнал зарегистрирован в Госкомпечати РФ. Свидетельство № 013165 от 23.12.94.

Подписной индекс **18390** в каталоге “Газеты. Журналы” Агентства “Роспечать”.

Журнал включен в базу данных “Российский индекс научного цитирования” (РИНЦ), размещенную на платформе Национальной электронной библиотеки на сайте <http://www.elibrary.ru>.

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

Точка зрения редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

Адрес редакции и издательства: Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.
Тел. редакции серии (812) 552-62-16.

© Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2012



Содержание

Телекоммуникационные системы и компьютерные сети

Бельтов А.Г., Доскалов М.В., Кулешов И.А. Анализ методов моделирования телекоммуникационных сетей.....	7
---	---

Инфокоммуникационные технологии

Кузнецов А.Н., Пышкин Е.В. Функциональное представление музыки и подходы к структурному синтезу.....	11
---	----

Проблемы передачи и обработки информации

Григорьев Л.Ю., Кудрявцев Д.В. Организационное проектирование на основе онтологий: методология и система ОРГ-Мастер.....	21
---	----

Радиотехника, антенны, СВЧ-устройства

Морозов Е.В. Оценка помехоустойчивости инвариантной системы связи с двухзначной амплитудной модуляцией.....	29
Варгаузин В.А., Цикин И.А. Сравнительная эффективность современных сигнально-кодowych конструкций в системах радиосвязи.....	33

Системный анализ и управление

Солдатенков А.С., Потапенко А.Н., Глаголев С.Н. Разработка и исследование математической модели управления автоматизированным индивидуальным тепловым пунктом.....	41
Демуринов В.Б. Многокритериальная оптимизация управленческих решений в информационной системе гостиничного комплекса.....	48
Шерыхалина Н.М. Метод фильтрации численных результатов с восстановлением значений коэффициентов.....	51
Дондик Е.М., Пылькин А.Н., Скоробогатова Н.Е. Математическое представление селекции распознаваемых знаков дактильной речи.....	55
Петриченко Г.С., Григорян Н.К., Медовщиков М.И. Методика разработки экспертной системы руководителя для принятия управленческих решений.....	60

Математическое моделирование: методы, алгоритмы, технологии

Костин Е.В., Писарев А.И. Нейросетевая модель процесса плавки медного никельсодержащего сырья в печах Ванюкова.....	67
Васильева Т.П., Мызникова Б.И., Русаков С.В. Математическое моделирование процесса градоформирования: вероятностный подход.....	73
Таратухин В.В., Овсянников М.В., Стогний И.А. Применение эвристических правил в задаче распределения разнородных ресурсов предприятия.....	79
Потапенко А.Н., Канунникова Е.А., Потапенко Т.А. Особенности метода инверсии для численного решения внешних краевых задач, связанных с электрическими полями в атмосфере.....	84

УДК 621.316.98: 22.193

А.Н. Потапенко, Е.А. Канунникова, Т.А. Потапенко

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА ИНВЕРСИИ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ВНЕШНИХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ В АТМОСФЕРЕ

При математических методах исследования от стержня Франклина до различного типа элементов систем молниезащит определяются электрические поля (ЭП) с учетом условий грозовой активности в атмосфере.

Исследуемые задачи относятся к классу внешних краевых задач. Несмотря на разнообразие способов решения этих задач при численных методах моделирования бесконечной области используются два основных подхода: во-первых, введение области расчета достаточно больших размеров с возможностью некоторого исключения влияния краевых эффектов на результаты расчетов; во-вторых, искусственное ограничение расчетной области путем введения в постановку задачи экранов и других приемов на основе применения граничного условия типа $\partial\psi/\partial n = 0$. При этом общим недостатком является снижение точности (например, при введении экранов) и эффективности численных расчетов (например, при задании расчетной области достаточно больших размеров).

Применительно для расчета ЭП в задачах, связанных с исследованиями молниеприемников стержневого типа систем молниезащит, используются *методы* конечных элементов (МКЭ) [1, 2], конечных разностей (МКР) [3, 4] и др. Среди развиваемых методов решения подобных задач необходимо отметить метод инверсии для полубезграничных сред (МИПБС) [4, 5], принятый за основу для численных расчетов в данной работе. При этом следует отметить, что МКР, в отличие от МКЭ, позволяет увеличить точность расчетов напряженности поля для различных типов угловых зон или стержней исследуемых объектов [5] с учетом применения алгоритма Брезенхэма.

Исследование [4] распределенной системы типа «плоскость-проводник» позволило выявить особенности краевого эффекта для заземленного стержня относительно облака, причем исследован идеальный вариант, в котором облако представлено в виде некоторого круга. Это связано

с тем, что за основу для схемы моделирования данной работы с применением МИПБС приняты соотношения размеров как в [3] с возможностью сравнительного анализа полученных результатов и с учетом того, что основные подходы работы известны специалистам [6].

В рамках статьи исследуются особенности модифицированного метода инверсии на примере определения электрического поля относительно заземленного стержневого молниеприемника и с учетом облака и его граничной поверхности.

Постановка задачи. Для исследования особенностей МИПБС относительно к распределенной системе типа «плоскость-проводник» применяется по аналогии с [4] схема моделирования, показанная на рис. 1. Схема включает стержень Γ_4 на плоскости Γ_1 в виде поверхности земли $F(x, y)$ и облако $V(x, y)$ в виде плоскости Γ_6 , находящейся в полубезграничной области относительно поверхности $F(x, y)$. В силу симметрии изучаемого объекта исследуется только часть некоторой полусферической области.

ЭП определяется относительно проводящей плоскости Γ_1 со стержнем Γ_4 (их потенциал ψ принимается равным нулю) и с учетом краевого эффекта от граничной поверхности облака Γ_6 , являющейся частью круга. Считаем, что исследу-

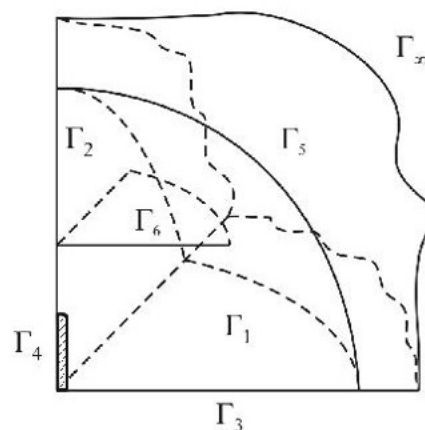


Рис 1. Схема моделирования молниеприемника стержневого типа

ется статический режим с учетом возникновения в некоторый момент времени на Γ_6 потенциала, равного ψ_{B0} . Эта постановка отличается от постановки задач [7, 8], в которых задается некоторое направление нисходящего стримера в воздухе, как правило, в виде проводника, причем в работе [7] не приводится конкретная математическая постановка задачи, а в [8] указывается, что моделирование поля потенциала осуществляется на основе уравнения Лапласа, но без указания граничных условий. Исходная постановка также отличается и от постановки задачи [3], в которой внешняя краевая задача сводится к внутренней путем задания граничных условий в исследуемой области в виде $\partial\psi/\partial n = 0$.

Поле распределения ψ подчиняется уравнению Лапласа, как в [4]:

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} = 0; (x, y, z) \in D(x, y, z). \quad (1)$$

Граничные условия задачи следующие:

- на границах Γ_1 и Γ_4

$$\psi(x, y, z) = 0, (x, y, z) \in \Gamma_1, \Gamma_4; \quad (2)$$

- на границе Γ_∞

$$\psi(\infty) = 0; \quad (3)$$

- на поверхностях симметрии области, т. е. на границах Γ_2, Γ_3

$$\partial\psi/\partial n = 0, (x, y, z) \in \Gamma_2, \Gamma_3; \quad (4)$$

- на границе Γ_6

$$\psi(x, y, z) = \psi_{B0}, (x, y, z) \in \Gamma_6, \quad (5)$$

где $D(x, y, z)$ – исследуемая область, ограниченная Γ_1 – Γ_4 , Γ_6 и Γ_∞ ; причем Γ_∞ – условная граница на бесконечности; Γ_5 – внутренняя граница в $D(x, y, z)$ (искусственно введенная граница [4]).

С учетом использования МИПБС считаем, что некоторая выделенная область $D'_m(x, y, z)$, входящая в состав области $D(x, y, z)$, имеет форму некоторой части полусферы с радиусом R_0 и с границами Γ_1 – Γ_6 (эта область может быть

представлена в виде куба, параллелепипеда и др., определяется видом области с исследуемым объектом, например [9]). Для реализации этого метода необходима дополнительная область $D^*_m(x, y, z)$, чтобы часть оставшейся области $D(x, y, z)$ между границами Γ_5 и Γ_∞ отобразилась на эту дополнительную область. Следует отметить, что составные области $D'_m(x, y, z)$ и $D^*_m(x, y, z)$ соприкасаются по внутренней поверхности Γ_5 в исходной области $D(x, y, z)$.

Особенности дискретной математической модели. Для краевой задачи с учетом уравнения (1) и граничных условий (2)–(5) уравнения в операторной форме для определения поля потенциала ψ в узлах (i, j, k) для дискретной области $D_d(x, y, z)$ имеют следующий вид:

$$L_h \psi^{(h)} \equiv \begin{cases} L_{xx}\psi_{ijk} + L_{yy}\psi_{ijk} + L_{zz}\psi_{ijk} = 0, \\ (x_i, y_j, z_k) \in D_d(x, y, z); \\ L_n \psi_{ijk} = 0, (x_i, y_j, z_k) \in \Gamma_2, \Gamma_3; \\ \psi_{ijk} = \psi_{B0}, (x_i, y_j, z_k) \in \Gamma_6; \\ \psi_{ijk} = 0, (x_i, y_j, z_k) \in \Gamma_1, \Gamma_4, \Gamma_\infty. \end{cases} \quad (6)$$

Здесь $L_{xx} = \partial^2/\partial x^2$, $L_{yy} = \partial^2/\partial y^2$, $L_{zz} = \partial^2/\partial z^2$, $L_n = \partial^2/\partial n^2$ – производные потенциала, которые представляются конечно-разностными аппроксимациями. Область $D_d(x, y, z)$, включающая $D'_m(x, y, z)$ и $D^*_m(x, y, z)$, является дискретной с регулярной прямоугольной сеткой. Для аппроксимации границ применяется алгоритм Брезенхэма. При расчетах не учитывается диаметр стержня, т. к. он пренебрежимо мал по сравнению с размерами $D_d(x, y, z)$ и шагом по x , y и z (аналогично как в [3]).

Так как во внутренних узлах сетки выполняется условие сходимости итерационного метода Гаусса–Зейделя, то во всех внутренних узлах области $D_d(x, y, z)$ потенциал $\psi_{i,j,k}$ рассчитывается с помощью численного метода, например, экстраполяционного метода Либмана [10] по формулам:

$$\psi_{i,j,k} = \frac{\psi_{i+1,j,k} + \psi_{i-1,j,k} + \psi_{i,j+1,k} + \psi_{i,j-1,k} + \psi_{i,j,k+1} + \psi_{i,j,k-1}}{6}, \quad (7)$$

$$\psi_{i,j,k}^S = \psi_{i,j,k}^{S-1} + \alpha(\psi_{i,j,k}^{S0} - \psi_{i,j,k}^{S-1}), \quad (8)$$

где α – ускоряющий коэффициент ($1 \leq \alpha \leq 2$); $\psi_{i,j,k}^{S-1}$ – значение в узле $\psi_{i,j,k}$ вычисленное на предыдущей итерации; $\psi_{i,j,k}^{S0}$ – значение в узле $\psi_{i,j,k}$ вычисленное в текущей итерации согласно (8); $\psi_{i,j,k}^S$ – новое значение.

На границах Γ_2, Γ_3 потенциал $\psi_{i,j,k}$ рассчитывается с учетом конечно-разностных аппроксимаций и вида условия симметрии (4). Модуль E определяется как квадратный корень из суммы квадратов компонент вектора E_x^2, E_y^2, E_z^2 .

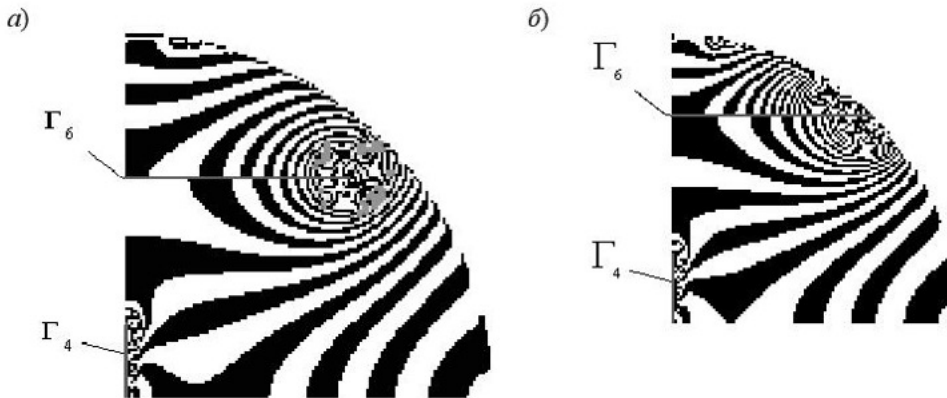


Рис. 2. Распределение поверхностей равных напряженностей поля с шагом ΔE^* :
а – для модели 1; б – модели 2

Согласно МИПБС граничные узлы $\psi_{i,j,k}$ на границе Γ_5 превращаются во внутренние узлы составной области $D'_{md}(x, y, z)$ и $D^*_{md}(x, y, z)$, причем в узлах на границе области $D'_{md}(x, y, z)$ расчет также ведется по формулам (7) и (8), а значения потенциалов в недостающих узлах берутся из дополнительной области $D^*_{md}(x, y, z)$, и наоборот.

Результаты численных расчетов. Результаты расчетов представляются в безразмерном виде для ψ и расстояний l как $\psi_{bi}^* = \psi_i / \psi_{B0}$, $l_i^* = l_i / h$ с учетом базовых значений потенциала ψ_{B0} на Γ_6 и высоты h стержня Γ_4 , а остальные определяются аналогично или через ψ_{bi}^* и l_i^* . Для сравнения результатов с известными данными основные соотношения размеров приняты как в [3].

Исследуются два типа моделей по схеме как на рис. 1. Исходные условия следующие: считаем, что граница Γ_6 имеет радиус $r_1^* = 3$ и находится на высоте $H_k^* = 3$, а высота Γ_4 равна $h^* = 1$. Отличие заключается в том, что Γ_5 – внутренняя граница в $D(x, y, z)$ (искусственно введенная с учетом МИПБС) в первой модели находится на расстоянии δ^* от границы Γ_5 , а во второй модели $\delta^* = 0$.

Результаты расчетов напряженности поля E^* относительно $F(x, y)$ и $V(x, y)$ для двух моделей показаны на рис. 2.

Из анализа результатов распределения поверхностей равных напряженностей поля следует, что на стержне Γ_4 и в окрестностях края границы Γ_6 наблюдается существенно неоднородное ЭП. Для оценки этих относительных величин рассмотрим результаты расчетов, показанные на рис. 3, причем кривые 1 и 2 – это характеристики $\psi_b^* = f(H_L^*)$ (рис. 3 а) и $E^* = f(H_L^*)$ (рис. 3 б), представляющие зависимости в вертикальных плоскостях относительно поверхности $F(x, y)$: по оси стержня и на расстоянии $S_{k1}^* = 3$, т. е. на границе облака $V(x, y)$.

Из анализа зависимостей $E^* = f(H_L^*)$ (см. рис. 3 б, кривые 1 и 2) следует, что модули максимальной напряженности поля E_m^* находятся как на стержне Γ_4 , так и на краю облака $V(x, y)$, причем E_m^* на расстоянии $S_{k1}^* = 3$ больше, чем на стержне по его оси.

Рассмотрим результаты распределения относительных величин $\psi_b^* = f(H_L^*)$ (рис. 4 а) и $E^* = f(H_L^*)$ (рис. 4 б), показанные на рис. 4, причем кривые 1–4 – это характеристики, представляю-

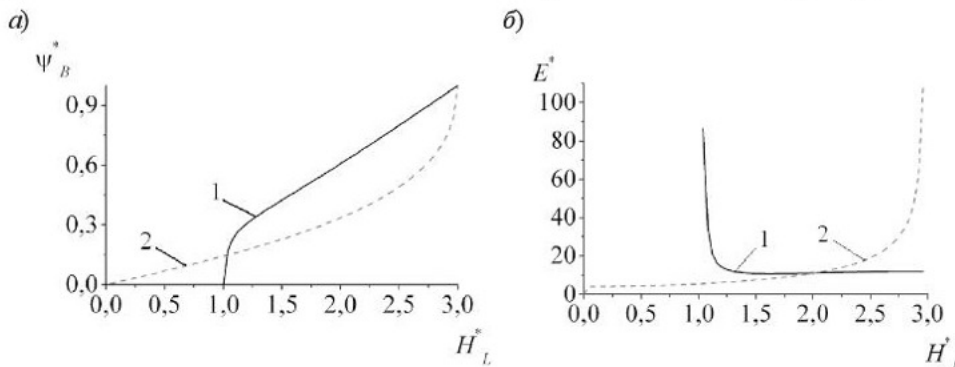


Рис. 3. Характеристики $\psi_b^* = f(H_L^*)$ (а) и $E^* = f(H_L^*)$ (б) в вертикальной плоскости:
1 – по оси стержня; 2 – на расстоянии $S_{k1}^* = 3$

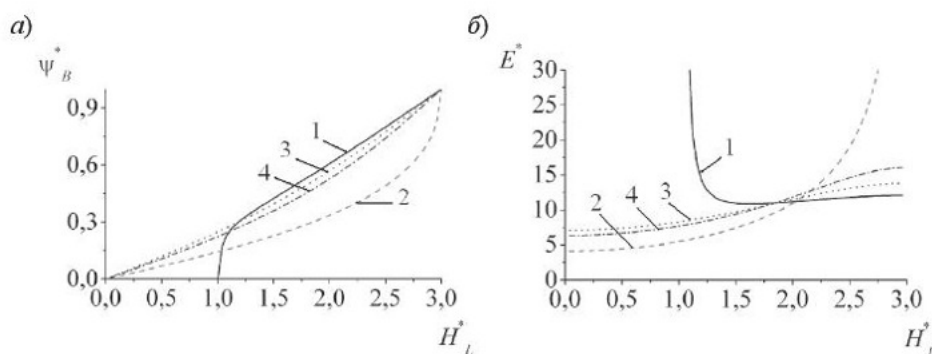


Рис. 4. Характеристики $\psi_B^* = f(H_L^*)$ (а) и $E^* = f(H_L^*)$ (б) для различных S_k^* :
 1 – по оси схемы ($S_{k0} = 0$); 2 – $S_{k1}^* = 3$; 3 – $S_{k2}^* = 1,5$; 4 – $S_{k3}^* = 2$

щие зависимости в вертикальных плоскостях относительно поверхности $F(x, y)$: по оси ($S_{k0} = 0$) и на расстоянии $S_{k1}^* = 3$, а также в промежуточных точках от оси $S_{k2}^* = 1,5$ и $S_{k3}^* = 2$. Следует отметить, что кривые 1 и 2 $E^* = f(H_L^*)$ (см. рис. 4 б), в отличие от рис. 3 б, представлены только в окрестностях точек $S_{k0} = 0$ и $S_{k1}^* = 3$, чтобы отразить особенности изменения напряженности в промежуточных точках как на $F(x, y)$, так и на облаке.

Анализ зависимостей $E^* = f(H_L^*)$ на рис. 4 б показывает, что напряженность поля E^* по поверхности $F(x, y)$ под облаком максимальна вблизи заземленного стержня и убывает к точке S_{k1}^* , а напряженность поля E^* по поверхности $V(x, y)$, наоборот, на облаке, непосредственно под стержнем, минимальная, причем приблизительно на порядок меньше, чем E_m^* у края облака $V(x, y)$.

Результаты расчетов для моделей 1 и 2 (см. рис. 2) с учетом распределения относительных величин $\psi_B^* = f(H_L^*)$ (рис. 5 а) и $E^* = f(H_L^*)$ (рис. 5 б), показаны на рис. 5, причем кривые 1 и 2 – это характеристики, представляющие зависи-

мости в вертикальных плоскостях относительно поверхности $F(x, y)$ на расстоянии $S_{k1}^* = 3$ для моделей 1 и 2.

Анализ зависимостей на рис. 5 показывает, что область $D'_m(x, y, z)$ с внутренней границей Γ_5 в методе МИПБС должна быть больше, чем максимальный размер исследуемого объекта, находящегося в этой области, т. к. при совпадении с границей Γ_5 наблюдается существенное завышение результатов расчета. В исследуемом случае установлено, что граница облака $V(x, y)$ должна быть на расстоянии не менее чем $\delta^*/2$ от границы Γ_5 .

Сравнение результатов расчета проводилось с [3] в вертикальной плоскости на расстоянии $S_1 = 3,2$ м и до высоты $H_1 = 13$ м по распределению поля ψ и представлено в [4]. Сравнительный анализ показал, что отличия в расчетах в целом составляют менее 0,5 %.

Анализ исследования трехмерных ЭП относительно заземленного стержневого молниеприемника и с учетом граничной поверхности облака на основе модифицированного метода инверсии

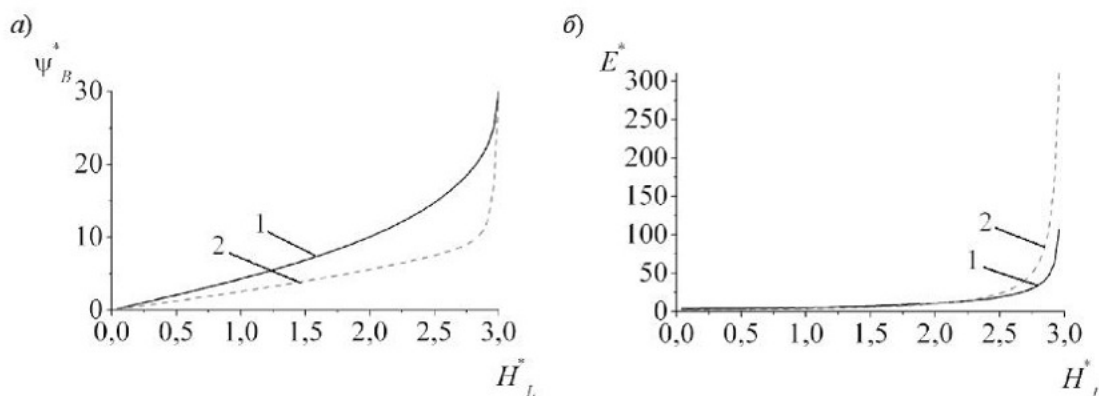


Рис. 5. Характеристики $\psi_B^* = f(H_L^*)$ (а) и $E^* = f(H_L^*)$ (б) в вертикальной плоскости на расстоянии $S_{k1}^* = 3$ от оси стержня:
 1 – для модели 1; 2 – для модели 2

показал, что имеется возможность определять напряженность поля в некоторой области и выявлять различные краевые эффекты. Например, установлено, что модули максимальной напряженности поля E_m^* находятся как на стержне молниеприемника E_{m1}^* , так и на краю облака E_{m2}^* , причем E_{m2}^* больше, чем на стержне по его оси.

Показано, что распределение напряженности поля E^* по поверхности земли под облаком убывает к периферии, а распределение напряженности поля E^* по поверхности облака, наоборот, существенно возрастает к периферии. При этом

следует заметить, что полученные выводы определяются соотношениями размеров исследуемой системы и соответствующими допущениями при расчетах.

В результате исследований установлено, что в выделяемой области $D'_m(x, y, z)$ с некоторой внутренней границей Γ_5 с учетом применения МИПБС при определении влияния краевых эффектов исследуемого объекта (например, $V(x, y)$) он не должен соприкасаться с внутренней границей Γ_5 , т. к. это приводит к завышению результатов расчета по Γ_5 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D'Alessandro, F. Electric field modelling of structures under thunderstorm conditions [Текст] / F. D'Alessandro, J.R. Gumley // Proc. of the 24th International Conf. on Lightning Protection. –Birmingham, Britain, 1998. –P. 457–462.

2. Ait-Amar, S. A 3-D numerical model of negative lightning leader interception. Applications to the collection volume construction [Текст] / S. Ait-Amar, G. Berger // Proc. of the 27th International Conf. on Lightning Protection. –Avignon, France, 2004. –P. 357–362.

3. Резинкина, М.М. Расчет трехмерных электрических полей в системах, содержащих тонкие проволоки [Текст] / М.М. Резинкина // Электричество. –2005. –№ 1. –С. 44–49.

4. Потапенко, А.Н. Метод инверсии для численного расчета распределенных систем типа «плоскость-проводник» [Текст] / А.Н. Потапенко, Е.А. Канунникова, Т.А. Потапенко // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Информатика. Телекоммуникации. Управление. –2011. –№ 5. –С. 53–57.

5. Потапенко, А.Н. Численное моделирование электрических полей в системах «электрод – поверхность земли» для элементов молниезащит [Текст] / А.Н. Потапенко, Е.А. Канунникова, М.И. Дыльков //

Изв. вузов. Проблемы энергетики. –2008. –№ 11–12. –С. 72–78.

6. Rezinkina, M.M. Software for determination of 3D electrical fields distribution in the vicinity of special installations and systems with lightning rods during thunderstorm [Текст] / M.M. Rezinkina // Proc. of the 24th International Conf. on Lightning Protection. –Birmingham, Britain, 1998. –P. 924–928.

7. D'Alessandro, F. A 'Collection Volume Method' for the placement of air terminals for the protection of structures against lightning [Текст] / F. D'Alessandro, J.R. Gumley // J. of Electrostatics. –2001. –№ 50. –P. 279–302.

8. Ait-Amar, S. Attractive Radius of Elevated Building [Текст] / S. Ait-Amar, G. Berger // Proc. of the 28th International Conf. on Lightning Protection. –Kanasawa, Japan, 2006. –P. 602–607.

9. Потапенко, А.Н. Исследование распределенных элементов систем молниезащит на основе вычислительных экспериментов [Текст] / А.Н. Потапенко, А.И. Штифанов, Т.А. Потапенко // Изв. Самарского научного центра РАН. –2010. –Т 12. –№ 4 (3). –С. 591–595.

10. Мак-Кракен, Д. Численные методы и программирование на Фортране [Текст] / Д. Мак-Кракен, У. Дорн. –М.: Мир, 1977. –584 с.

УДК 519.711.3

В.И. Антонов, А.И. Загайнов, Ву ван Куанг

ДИНАМИЧЕСКИЙ ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАбельности СЕРДЕЧНОГО РИТМА

В настоящей статье рассматриваются проблемы нелинейного исследования хаотических временных рядов варибельности сердечного ритма (ВСР) – временных интервалов между последо-

вательными нормальными QRS-комплексами электрокардиограммы (норма-норма или NN-интервалов). Благодаря рекомендациям научных сообществ США, Европы [3], Японии, Китая и