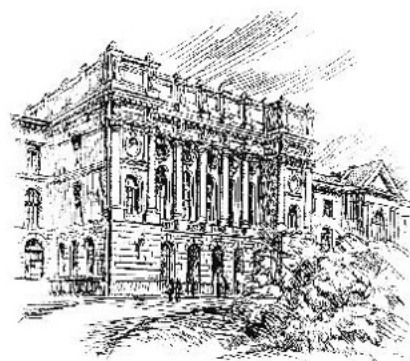


5(133)/2011



# Научно-технические ведомости СПбГПУ

ИНФОРМАТИКА.  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ.  
УПРАВЛЕНИЕ

Санкт-Петербург. Издательство Политехнического университета

Министерство образования и науки

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.*, чл.-кор. РАН; *Рудской А.И.*, чл.-кор. РАН;  
*Патон Б.Е.*, академик НАН Украины и РАН; *Федоров М.П.*, чл.-кор. 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;  
*Болдырев Ю.Я.*, д-р техн. наук, профессор;  
*Пышкина Г.А.*, технический секретарь;  
*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;  
*Шабров Н.Н.*, 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, 2010



## Содержание

### Инфокоммуникационные технологии

<i>Левин Е.К., Рагузин П.С., Татарникова М.Ю. Оценка вероятности ложного срабатывания системы автоматического распознавания голосовых команд.....</i>	7
---	---

### Проблемы передачи и обработки информации

<i>Неелова Н.В. Модель определения первичного контента среди множества web-документов.....</i>	13
<i>Сафиуллин Н.Т., Поршнева С.В. Сравнительный анализ расчета мгновенной частоты через преобразование Гильберта и прямую квадратуру.....</i>	18
<i>Балашов Е.В., Коротков А.С., Румянцев И.А. Методы линеаризации усилителей мощности передатчиков систем мобильной связи – краткий обзор.....</i>	25

### Системный анализ и управление

<i>Шарапова О.Ю. Оптимальное управление многомерными моделями процесса периодического индукционного нагрева.....</i>	31
<i>Гильманова Н.А. Метод трехфазовой декомпозиции для решения задачи построения маршрутов следования транспортных средств с учетом размещения грузов.....</i>	35
<i>Низамутдинова Р.И., Федорова Н.И. Поддержка принятия решений при управлении взаимодействующими строительными процессами.....</i>	43

### Радиотехника, антенны, СВЧ-устройства

<i>Пятак И.М., Морозов Д.В., Пилипко М.М. Схемное решение блока компараторов двухразрядной ячейки конвейерного АЦП.....</i>	49
---	----

### Математическое моделирование: методы, алгоритмы, технологии

<i>Потапенко А.Н., Канунникова Е.А., Потапенко Т.А. Метод инверсии для численного расчета распределенных систем типа «плоскость-проводник».....</i>	53
<i>Тименков Ю.В., Тименкова Д.В., Антышев Е.П. Модель потребления ресурсов для взаимозависимых процессов с учетом истории обращений.....</i>	57
<i>Елисеев В.В., Кузин А.К. Математическое моделирование и оценка прочности линейно-упругого тела в окрестности углового выреза.....</i>	68
<i>Бурлов В.Г., Магулян Г.Г., Матвеев А.В. Общий подход к моделированию систем обеспечения безопасности.....</i>	73
<i>Галиуллин Л.А., Зубков Е.В., Мочалов Д.И. Математическое моделирование режимов испытаний дизельных двигателей.....</i>	77
<i>Куриков Н.Н., Шабров Н.Н., Мелещенко Н.Г. Определение полей контактных давлений в проушинах прицепного шатуна звездообразного двигателя.....</i>	81
<i>Морозова Е.В. Математические модели функционирования технологического оборудования промышленного производства.....</i>	91



# Contents

## Infotelecommunication technologies

<b>Levin E.K., Raguzin P.S. Tatarnikova M.Y.</b> <i>An estimation of the keyword false acceptance error of automatic speech recognition systems as a function of their acoustic similarity to non-keywords</i> .....	7
--	---

## Information transfer and processing

<b>Neelova N.V.</b> <i>Detecting model of the author's copy among cluster of similar web-documents</i> .....	13
<b>Safiullin N.T., Porshnev S.V.</b> <i>Comparative analysis of computation the instantaneous frequency with Hilbert transform and direct quadrature</i> .....	18
<b>Balashov E.V., Korotkov A.S., Rumyancev I.A.</b> <i>Linearization methods of power amplifiers of mobile communication system transmitters – short review</i> .....	25

## System analysis and control

<b>Sharapova O.Yu.</b> <i>Optimal control of multivariate model of process of periodic induction heating</i> .....	31
<b>Gilmanova N.A.</b> <i>A three-phase decomposition method for the capacitated vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints</i> .....	35
<b>Nizamutdinova R.I., Fedorova N.I.</b> <i>Decision-making for cooperative processes management in construction engineering</i> .....	43

## Radio engineering, aeriels, SHF-devices

<b>Piatak I.M., Morozov D.V., Pilipko M.M.</b> <i>Circuit of two-digit cell for pipelined analog-to-digital converter</i> .....	49
---	----

## Mathematical modelling: methods, algorithms, technologies

<b>Potapenko A.N., Kanunnikova E.A., Potapenko T.A.</b> <i>The inversion method for numerical calculation of the distributed systems of type inversion method for numerical calculation of the distributed systems of type «plane-conductor»</i> .....	53
<b>Timenkov Yu.V., Timenkova D.V., Antyshev E.P.</b> <i>The model of consumption of computer resources by coupled processes</i> .....	57
<b>Yeliseyev V.V., Kuzin A.K.</b> <i>Mathematical modelling and evaluation of strength of linear elastic body in the vicinity of a corner indent</i> .....	68
<b>Burlov V.G., Matveev A.V., Magulyan G.G.</b> <i>The general approach of modelling system support of safety</i> .....	73
<b>Galiullin L.A., Zubkov E.V., Mochalov D.I.</b> <i>Mathematical modelling of diesel engines testing regimes</i> ...	77
<b>Kurikov N.N., Shabrov N.N., Meleshchenko N.G.</b> <i>Determination of contact pressure distribution in the eyes of a link rod of a radial engine</i> .....	81
<b>Morozova E.V.</b> <i>Mathematical models of industrial production equipment functioning</i> .....	91
<b>Uraikov A.R., Timeryaev T.V.</b> <i>Graph partitioning with minimization of average travel in subgraphs</i> .....	96
<b>Akhatova Ch.F.</b> <i>Artificial intelligence method and models for data analysis and decision making</i> .....	99

## МЕТОД ИНВЕРСИИ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ТИПА «ПЛОСКОСТЬ–ПРОВОДНИК»

В технике высоких напряжений встречается необходимость расчета электрических полей (ЭП) для высоковольтных линий электропередач переменного и постоянного токов [1], например, для систем молниезащит [2], для электростатических систем рассеивания тумана и аналогичных задач, которые сводятся к математическому моделированию распределенных систем типа «плоскости–проводники». Применительно для расчета ЭП в задачах, связанных с исследованиями молниеприемников стержневого вида систем молниезащит, используются различные методы, например, позволяющие аппроксимировать стержень (проводник) с помощью вытянутых полуэллипсоидов относительно поверхности земли [3], методы конечных элементов (МКЭ) [4], конечных разностей (МКР) [5] и др. Численные методы позволяют определять ЭП для объектов различной конфигурации с расположенными на них или вблизи молниеприемниками и др. Следует отметить, что МКР в отличие от МКЭ позволяет увеличить точность расчетов для различных типов угловых зон исследуемых объектов [6] с учетом применения алгоритма Брезенхэма, что особенно важно при расчетах напряженности поля для различного типа краевых эффектов.

В последние годы предлагаются новые методы решения подобных задач, относящихся к внешним краевым задачам, т. к. при их численном решении имеются дополнительные сложности, связанные с необходимостью задания граничных условий на бесконечности, а не на введенной внешней границе исследуемой области. Главное требование, предъявляемое к искусственным границам расчетной области, состоит в том, чтобы решение задачи в ограниченной области аппроксимировало решение исходной задачи в неограни-

ченной области. Среди этих методов можно отметить метод инверсии для полубезграничных сред (МИПБС), используемый, например, для исследования особенностей систем молниезащит [7], также принятый за основу и в данной работе.

### Постановка задачи

Рассмотрим особенности схемы моделирования, показанной на рис. 1, включающей стержень  $\Gamma_4$  на плоскости  $\Gamma_1$  в виде поверхности земли  $F(x, y)$  и облако  $V(x, y)$  в виде плоскости  $\Gamma_6$ , находящихся в полубезграничной области относительно поверхности  $F(x, y)$ . В силу симметрии изучаемого объекта исследуется только часть некоторой области.

ЭП определяется относительно проводящей плоскости  $\Gamma_1$  со стержнем  $\Gamma_4$  (их потенциал  $\psi$  принимается равным нулю) и с учетом краевого эффекта от плоскости  $\Gamma_6$ , являющейся частью круга. Считаем, что исследуется статический режим с учетом возникновения в некоторый момент

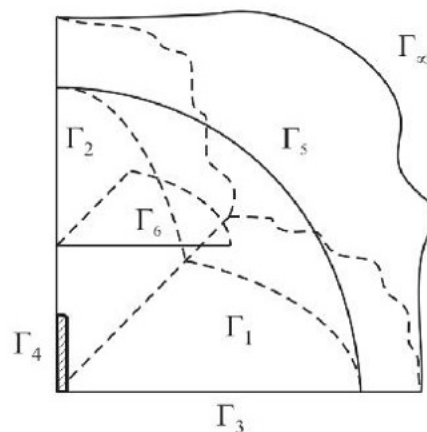


Рис. 1. Схема моделирования молниеприемника стержневого типа

времени на  $\Gamma_6$  потенциала равного  $\psi_B$ . Эта постановка отличается от постановки задачи F. D'Alessandro [4], в которой задается некоторое направление нисходящего стримера в воздухе, как правило, в виде проводника с заданным потенциалом, причем в работе не приводится конкретная математическая постановка задачи, как и в [8]. Исходная постановка также отличается и от постановки задачи М.М. Резинкиной [5], в которой внешняя краевая задача сводится к внутренней путем задания граничных условий в исследуемой области в виде  $\partial\psi/\partial n = 0$ .

Считаем, что определяемое поле распределения  $\psi$  подчиняется уравнению Лапласа как, например, в [7]:

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

Граничные условия задачи следующие: на границах  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_4$

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

на границе  $\Gamma_\infty$

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

на поверхностях симметрии области (на границах  $\Gamma_2, \Gamma_3$ )

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

на границе  $\Gamma_6$

$$\psi(x, y, z) = \psi_B, (x, y, z) \in \Gamma_6 \quad (5)$$

где  $D(x, y, z)$  – исследуемая область, ограниченная  $\Gamma_1 - \Gamma_4, \Gamma_6$  и  $\Gamma_\infty$ ; причем  $\Gamma_\infty$  – условная граница на бесконечности;  $\Gamma_5$  – внутренняя граница в  $D(x, y, z)$  (искусственно введенная граница [7]).

С учетом использования МИПБС считаем, что некоторая выделенная область  $D'_m(x, y, z)$ , входящая в состав области  $D(x, y, z)$ , имеет форму части полусферы с радиусом  $R_0$  и с границами  $\Gamma_1 - \Gamma_6$  (эта область может быть представлена в виде куба, параллелепипеда и др., определяется

видом области с исследуемым объектом [9]). Для реализации этого метода необходима дополнительная область  $D'_m(x, y, z)$  для того, чтобы часть оставшейся области  $D(x, y, z)$  между границами  $\Gamma_5$  и  $\Gamma_\infty$  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  $\Gamma_5$  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  $\psi$  в узлах  $(i, j, k)$  для дискретной области  $D_d(x, y, z)$  имеют следующий вид:

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

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 [5]).

Так как во внутренних узлах сетки выполняется условие сходимости итерационного метода Гаусса–Зейделя, тогда 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  $\alpha$  – 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  $\Gamma_2, \Gamma_3$  потенциал  $\psi_{i,j,k}$  рассчитывается с учетом конечно-разностных аппроксимаций и вида условия симметрии (4). Модуль  $E$  определяется с учетом  $E_i$  как корень квадратный из суммы  $E_x^2, E_y^2, E_z^2$ .

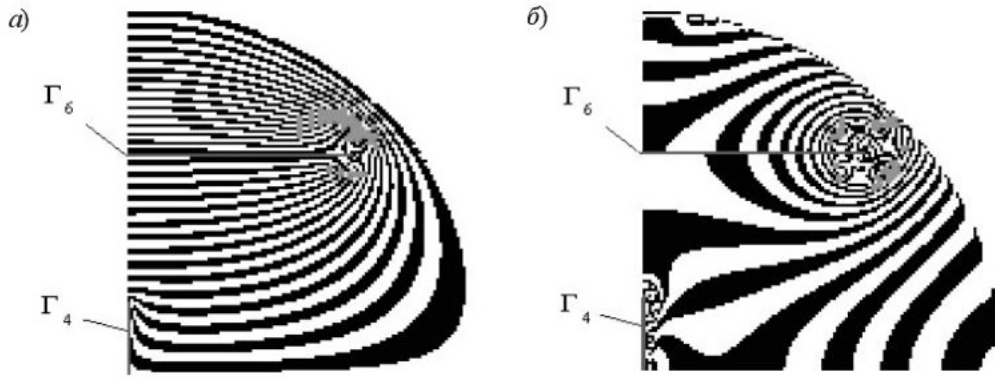


Рис. 2. Распределение эквипотенциальных поверхностей ЭП с шагом  $\Delta\psi^*$  (а) и поверхностей равных напряженностей поля с шагом  $\Delta E^*$  (б)

Согласно МИПБС граничные узлы  $\psi_{i,j,k}$  на границе  $\Gamma_5$  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  $\psi$  и расстояний  $l$  как  $\psi_{bi}^* = \psi_i / \psi_B$ ,  $l_i^* = l_i / h$  с учетом базовых значений потенциала  $\psi_B$  на  $\Gamma_6$  и высоты  $h$  стержня  $\Gamma_4$ , а остальные определяются аналогично или через  $\psi_{bi}^*$  и  $l_i^*$ . Для сравнения результатов с известными данными основные соотношения размеров приняты как в [5].

Исследуется модель по схеме на рис. 1 для двух вариантов. В первом варианте считаем, что граница  $\Gamma_6$  имеет радиус  $r_1^* = 3$  и находится на высоте  $H_k^* = 3$ , а высота  $\Gamma_4$  равна  $h^* = 1$ . Результаты расчетов поля потенциала  $\psi_b^*$  и напряженности

поля  $E^*$  относительно  $F(x, y)$  и  $V(x, y)$  показаны на рис. 2.

Из анализа результатов распределения эквипотенциальных поверхностей ЭП и поверхностей равных напряженностей поля следует, что на стержне  $\Gamma_4$  и в окрестностях края границы  $\Gamma_6$  наблюдается существенно неоднородное ЭП. Для оценки этих относительных величин рассмотрим результаты расчетов, показанные на рис. 3, причем кривые 1, 2 и 3 – это различные 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 ( $S_{k0} = 0$ ) и на расстоянии  $S_{k1}^* = 3$ , а также в промежуточной точке от оси  $S_{k2}^* = 2^*$ .

Из анализа зависимостей  $E^* = f(H_L^*)$  (см. рис. 3 б, кривые 1 и 2) следует, что максимальные концентрации напряженности поля как по оси заземленного стержня  $\Gamma_4$ , так и у края облака  $V(x, y)$  достигают величин порядка  $E_m^* \approx 30$ . На расстоянии  $S_{k2}^* = 2^*$  зависимость  $E^* = f(H_L^*)$  имеет вид

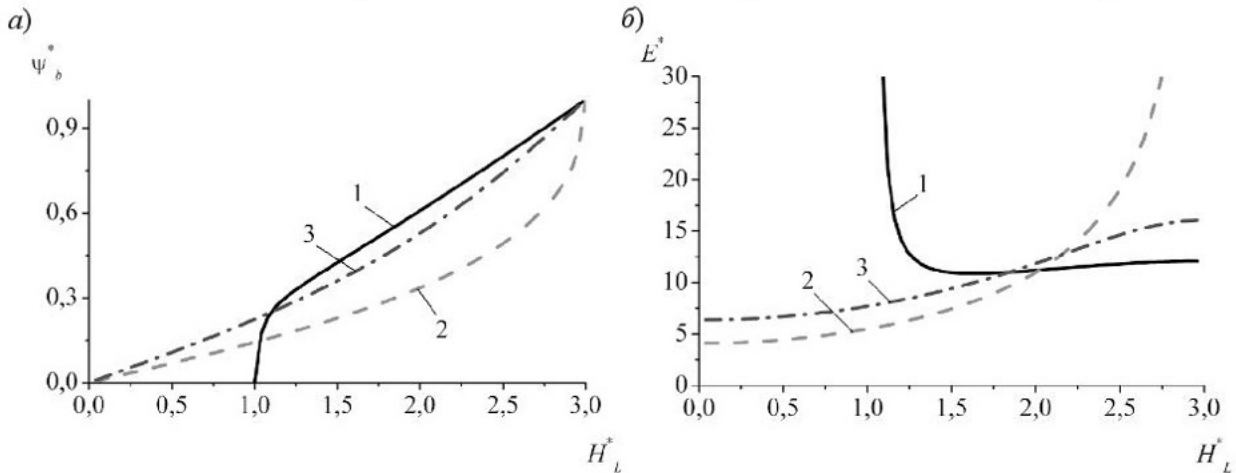


Рис. 3. Характеристики  $\psi_b^* = f(H_L^*)$  (а) и  $E^* = f(H_L^*)$  (б) для различных  $S_k$   
1 – по оси схемы ( $S_{k0} = 0$ ); 2 –  $S_{k1}^* = 3$ ; 3 –  $S_{k2}^* = 2$

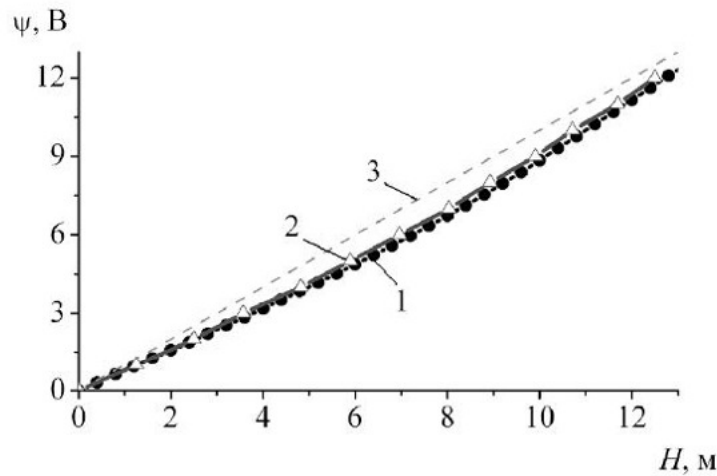


Рис. 4. Характеристика  $\psi = f(H)$   
1 – расчет МИПБС; 2 – данные [5]; 3 – распределение  $\psi$  при заданном  $E_0$

$S$ -образной характеристики и указывает на рост напряженности поля к краю  $V(x, y)$ . Максимальный градиент изменения  $E^*$  по вертикали на расстоянии  $S_{k1}^* = 3$  существенно меньше, чем в ближней зоне по оси стержня. Анализ характеристик 2 и 3 (см. рис. 3 б) показывает, что на уровне  $h^* = 1$  стержня в них отсутствуют изменения, связанные с краевым эффектом от его торца. Изменения проявляются, например, при  $h = 10$  м, но на расстоянии около  $1/3 h$  от торца стержня и составляют порядка 25 % от величины  $E_0$  однородного поля [7]. Это указывает на то, что краевой эффект от торца стержня весьма локализован. Однако краевой эффект от облака вносит существенные изменения в ЭП исследуемой системы.

Установлено, что  $E^*$  по поверхности  $V(x, y)$  от оси до края облака относительно  $F(x, y)$  увеличивается от  $E_k^* \approx 12$  до  $E_m^*$ , т. е. в 2,5 раза. При этом градиент изменения  $E^*$  существенно нарастает к краю облака  $V(x, y)$ . Если на расстоянии  $2/3$  от оси  $\Delta E^*/\Delta l^*$  составляет величину порядка двух, то на оставшейся части  $V(x, y)$  эта величина увеличивается приблизительно в 7 раз. Аналогично вдоль поверхности  $V(x, y)$  также изменяется и плотность свободного электрического заряда, т. к. она пропорциональна  $E^*$  и достигает максимума на краю облака. С учетом подхода [4] следует, что для соотношений размеров исследуемой системы «плоскость–проводник» возможность появления нисходящего стримера будет определяться окрестностью края облака в случае появления грозовой активности и соответственно введением в расчеты, например,  $E_0 = 10$  кВ/м.

Для второго варианта исходной задачи с помощью МИПБС выполнены расчеты с учетом известных данных [5], т. е. граница  $\Gamma_6$  находится на высоте  $H = 3l$  и ее радиус равен  $10l$ , а  $l$  – это высота стержня. Результаты расчетов по этому варианту представлены на рис. 4.

Сравнение результатов расчета проводилось в вертикальной плоскости на расстоянии  $S_1 = 3,2$  м и до высоты  $H_1 = 13$  м по распределению поля  $\psi$  [5]. На рис. 4 также представлена дополнительная характеристика 3, учитывающая однородное поле  $E_0 = 1$  В/м, позволяющая оценить отличия расчетных характеристик, возникающих при учете заземленного стержня  $\Gamma_4$ . Сравнительный анализ показал, что отличия в расчетах в целом составляют менее 0,5 %.

Установлено, что применяемый метод инверсии для полубезграничных сред позволяет численно исследовать на моделях элементы систем молниезащит с возможностью учета различных краевых эффектов, например, границ облака. Если в подходе [5] имеется существенное ограничение по приведению внешней краевой задачи к внутренней, то МИПБС позволяет непосредственно решать внешние краевые задачи. В отличие от методов расчета ЭП, основанных на применении интегральных зависимостей на базе известных аналитических решений для потенциала  $\psi$  проводника, например, как в [5], в этом случае МИПБС обладает существенным преимуществом, т. к. позволяет учитывать возможные изменения соотношений размеров, особенности



расположения стержней, причем с находящимися на них устройствами как в конструкциях ESE-молниеотводов (Early Streamer Emission – ранняя стримерная эмиссия) и т. д.

Следует отметить, что для исследуемой задачи показана особенность выявления как области, из которой возможно появление нис-

ходящего стримера, так и вероятности определения возможной точки восходящего стримера на основе численных расчетов ЭП и с учетом подхода [4]. Полученные выводы определяются соотношениями размеров исследуемой системы и соответствующими допущениями при их расчетах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yang, Y. The strip simulation method for computing electric field on conductor surfaces [Текст] / Y. Yang, D. Dallaire, J. Ma [et al.] // Proc. of the 3 IASTED International Conf. on Power and Energy Systems. –Spain, Sept. 3-5 2003. –P. 353–357.
2. Базелян, Э.М. Физика молнии и молниезащиты [Текст] / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер. –М.: Физматлит, 2001. –320 с.
3. Aleksić, S.R. Determination of critical atmospheric electric field around Franklin's lightning protection rod that leads to break-down [Текст] / S.R. Aleksić, S.S. Ilić // Acta Electrotechnica et Informatica. –2007. –№ 2. –Vol. 7. –P. 3–9.
4. D'Alessandro, F. Electric field modelling of structures under thunderstorm conditions [Текст] / F. D'Alessandro, J.R. Gumley // Proc. of ICLP'1998. –Birmingham, Britain, 1998. –P. 457–462.
5. Резинкина, М.М. Расчет трехмерных электрических полей в системах, содержащих тонкие проволоки [Текст] / М.М. Резинкина // Электричество. –2005. –№ 1. –С. 44–49.
6. Потапенко, А.Н. Математическое моделирование поля давлений в многоэлектродных разрядных блоках [Текст] / А.Н. Потапенко, М.И. Дыльков, А.И. Штифанов // Изв. высших учебных заведений. Проблемы энергетики. –2003. –№ 9-10. –С. 120–124.
7. 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. высших учебных заведений. Проблемы энергетики. –2008. –№ 11-12. –С. 72–78.
8. 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.
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 научно-го центра РАН. –2010. –Т12. –№ 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 519.876.5

*Ю.В. Тименков, Д.В. Тименкова, Е.П. Антышев*

### МОДЕЛЬ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ДЛЯ ВЗАИМОЗАВИСИМЫХ ПРОЦЕССОВ С УЧЕТОМ ИСТОРИИ ОБРАЩЕНИЙ

Согласно исследованиям Datamonitor Group [1], объем рынка предоставляемых услуг в области ИТ составил в 2009 г. более 2 млрд долл. USA. Действительно, многим компаниям удобнее заказывать сервисы по разработке и поддержке программ на стороне, чем держать в своем штате программистов или системных администраторов. При этом современные компьютеры настолько производительны, что большую часть времени простаивают или работают не на полную мощность. Поэтому такие технологии, как

виртуализация, позволяют поставщикам услуг оптимально использовать время, безопасно исполняя на одной машине приложения нескольких клиентов.

Фирмы, предоставляющие такие сервисы, как аутсорсинг ИТ-услуг или облачные вычисления, подвергаются большому риску: ведь если случится сбой в центре обработки данных, то пострадает не один клиент, что может грозить многомиллионными убытками. Поэтому очень важно уметь управлять подобными рисками.