

Учредитель
ФГБОУ ВПО «Бурятский государственный университет»

ВЕСТНИК

БУРЯТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

2 / 2013



Математика, информатика

Журнал издается
с 2012 года

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-48732 от 28 февраля
2012 г. Федеральная служба по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

Ответственные за выпуск
Д.О. Трунин, И.-Х.Д. Хишектуева

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А.С. Булдаев, д-р физ.-мат. наук, проф.
(гл. редактор, Улан-Удэ)
В.И. Антонов, канд. физ.-мат. наук, доц.
(Улан-Удэ)
С.Н. Васильев, акад. РАН, проф. (Москва)
В.И. Гурман, д-р техн. наук, проф. (Москва)
А.В. Данеев, д-р техн. наук, проф. (Иркутск)
Т.Г. Дармаев, канд. физ.-мат. наук, доц.
(Улан-Удэ)
Ж.Г. Дамбаев, д-р техн. наук, проф.
(Улан-Удэ)
В.В. Кибирев, канд. физ.-мат. наук, проф.
(Улан-Удэ)

А.И. Кожанов, д-р физ.-мат. наук, проф.
(Новосибирск)
А.Д. Миждон, д-р техн. наук, проф.
(Улан-Удэ)
Б. Очирбат, д-р наук, проф.
(Монголия, Улан-Батор)
В.А. Срочко, д-р физ.-мат. наук, проф.
(Иркутск)
Д.Ш. Ширапов, д-р физ.-мат. наук, проф.
(Улан-Удэ)
Г.А. Шишкин, канд. физ.-мат. наук, проф.
(Улан-Удэ)
Р. Энхбат, д-р наук, проф.
(Монголия, Улан-Батор)

✉ АДРЕС РЕДАКЦИИ
670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а
☎ 21-77-33 vestnik_bsu_math@rambler.ru

✉ АДРЕС ИЗДАТЕЛЯ
670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а
☎ 21-95-57, riobsu@gmail.com

Содержание

1. Управляемые системы и методы оптимизации

Трушкова Е.А. Приближенный синтез управления на основе алгоритма глобального улучшения	4
--	---

2. Информационные системы и технологии

Исаев С.В. Кибербезопасность научно-образовательного учреждения – активы и угрозы	9
Ковалевский В.В., Брагинская Л.П., Григорюк А.П. Управление данными экспериментов с использованием современных web-технологий.....	16
Кононов Д.Д., Жучков Д.В. Автоматизация проведения открытых электронных аукционов в сети Интернет.....	24
Олзоева С.И. Программный инструментарий для организации распределенного имитационного моделирования систем.....	34
Федорченко Л.Н. Минимизация трансляционной КСР-грамматики и состояний синтаксического анализатора КСР-языка.....	39

3. Математическое моделирование

Бубенчиков М.А., Бубенчиков А.М., Тумэрпурэвийн Намнан, Цыренова В.Б., Энхбат Р. Потенциальная деформация упругого параллелепипеда.....	50
Дагуров П.Н., Дмитриев А.В. О методе расчета дифракционных интегралов.....	57
Дармаев Т.Г., Дамбаев Ж.Г. О нестационарном обтекании произвольного профиля.....	60
Итигилов Г.Б., Ширапов Д.Ш. Дисперсионные характеристики гибридных волн в ограниченных эллиптических гиротропных областях при продольном намагничивании.....	70
Попков Г.В., Леваков А.К. Задачи оптимизации структурной надежности и живучести сетей связи в условиях ЧС.....	75
Фаткиева Р.Р. Применение вейвлетов Добеши для обнаружения аномалий сетевого трафика.....	88
Харинов М.В. Количество информации в пикселе цифрового изображения.....	95
Цыдыпов Б.Д. Анализ нестационарной диффузионной задачи для сильноточных катодов плазмотронов.....	105

Contents

1. Controlled systems and methods of optimization

Trushkova E.A. Approximate feedback control based on algorithm of global improvement	4
--	---

2. Information systems and technologies

Isaev S.V. Cybersecurity of academic and educational institution - its assets and threats	9
Kovalevsky V.V., Braginskaya L.P., Grigoryuk A.P. Experimental data management using modern web technologies	16
Kononov D.D., Zhuchkov D.V. Automation of conducting open electronic auctions using the Internet	24
Olzoeva S.I. Software tools for organization of distributed simulation modeling systems	34
Fedorchenko L.N. Minimization of translational CFR-grammar and conditions of generated parser CFR-language	39

3. Mathematical modeling

Bubenchikov M.A., Bubenchikov A.M., Tumerpurevin N., Tsyrenova V.B., Enkhbat R. The potential deformation of elastic parallelepiped ...	50
Dagurov P.N., Dmitriev A.V. On the method of diffraction integrals calculation	57
Darmaev T.G., Dambaev Zh.G. On unsteady flow of arbitrary profile...	60
Itigilov G.B., Shirapov D.Sh. Dispersive characteristics of hybrid waves in limited elliptic girotropic areas at longitudinal magnetization ..	70
Popkov G.V., Levakov A.K. Problems of optimization of structural reliability and survivability of communication networks	75
Fatkieva R.R. Application of Daubechies wavelets for network traffic anomalies detection	88
Kharinov M.V. Information quantity in a pixel of digital image	95
Tsydypov B.D. Analysis of non-stationary diffusion problem for high-current cathodes of plasmatrons	105

1. Управляемые системы и методы оптимизации

УДК 517.97

© Е.А. Трушкова

ПРИБЛИЖЕННЫЙ СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ГЛОБАЛЬНОГО УЛУЧШЕНИЯ¹

Рассматривается проблема построения приближенного синтеза управления в задачах оптимального управления динамическими системами. Предложена процедура поиска приближенного синтеза с помощью соотношений глобального алгоритма Кротова улучшения управления.

Ключевые слова: динамическая система, синтез управления, глобальный алгоритм улучшения.

© Е.А. Трушкова

APPROXIMATE FEEDBACK CONTROL BASED ON ALGORITHM OF GLOBAL IMPROVEMENT

We consider the problem of constructing an approximate feedback control in optimal control of dynamic systems. The procedure of finding the approximate feedback control using the relations of the Krotov global control improvement algorithm is proposed.

Keywords: dynamic system, feedback control, global control improvement.

Введение

Проблема приближенного синтеза управления для непрерывной задачи оптимального управления

$$\dot{x} = f(t, x, u), t \in [t_I, t_F], x(t_I) = x_I, u \in U, F(x(t_F)) \rightarrow \min \quad (1)$$

заключается в построении последовательности функций $\{u_s(t, x)\}_{s=1,2,\dots}$, такой, что для любых $\tau \in [t_I, t_F)$, $x_\tau \in R^n$ справедливо

$$F(x_{s-1}(t_F; x_\tau)) \geq F(x_s(t_F; x_\tau)), s = 2, 3, \dots,$$

где $x_s(t; x_\tau)$ – решение задачи Коши $\dot{x} = f(t, x, u_s(t, x))$, $x(\tau) = x_\tau$. При этом каждую функцию $u_s(t, x)$ искомой последовательности, следуя [1], будем называть *приближенным синтезом управления*.

Известен метод последовательных приближений для поиска приближенного синтеза управления с использованием соотношений Беллмана [2, 3], который состоит в следующем.

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-01-00256-а).

0) Имеем начальный приближенный синтез $u^l(t, x)$, т. е. такую функцию, для которой при любом $x_\tau \in R^n$ процесс $(x^l(t; x_\tau), u^l(t; x_\tau))$ является допустимым. Здесь через $x^l(t; x_\tau)$ обозначено решение задачи Коши $\dot{x} = f(t, x, u^l(t, x))$, $x(t_I) = x_\tau$, а $u^l(t; x_\tau) = u^l(t, x^l(t; x_\tau))$.

1) Ищем $\varphi(t, x_\tau)$ из соотношений Беллмана:

$$R(t, x, u^l(t, x)) \triangleq \varphi_x^T(t, x) f(t, x, u^l(t, x)) + \varphi_t(t, x) = 0, \quad (2)$$

$$G(x) \triangleq F(x) + \varphi(t_F, x_\tau) = 0, \quad (3)$$

при $x = x^l(t; x_\tau)$. Выразив $x_\tau = \xi(t, x)$, находим $\varphi^0(t, x) = \varphi(t, \xi(t, x))$.

2) Строим новый приближенный синтез: $u(t, x) = \arg \max_{u \in U} R(t, x, u; \varphi^0)$.

В результате итерационного повторения описанных шагов получаются последовательности $u_s(t, x)$ и $\varphi_s(t, x)$, если процесс построения этих последовательностей оказывается возможным [3]. Здесь функции $\varphi_s(t, x)$ строятся сложным образом, что связано в первую очередь с интегрированием исходной системы при управлениях, зависящих от фазовых координат. Избавиться от этой сложности, а также упростить соотношения Беллмана (2), (3) для поиска разрешающей функции позволяет глобальный алгоритм улучшения управления.

1. Приближенный синтез

Нетрудно видеть, что равенства

$$\varphi_x^T(t, x) f(t, x, u^l(t)) + \varphi_t(t, x) = 0, \quad (4)$$

$$F(x) + \varphi(t_F, x) = 0,$$

глобального алгоритма улучшения управления [4] являются аналогами соотношений Беллмана (2), (3) для поиска приближенного синтеза управления методом последовательных приближений. Разница заключается лишь в том, что вместо начального управления в форме синтеза $u^l(t, x)$ в соотношениях (4) используется начальное управление в виде функции времени – программное управление $u^l(t)$. Одна итерация предлагаемого метода поиска приближенного синтеза управления состоит в следующем.

0) Имеем начальное допустимое управление $u^l(t)$, т. е. такую функцию, для которой при любом $x_\tau \in R^n$ процесс $(x^l(t; x_\tau), u^l(t))$ является допустимым. Здесь через $x^l(t; x_\tau)$ обозначено решение задачи Коши $\dot{x} = f(t, x, u^l(t))$, $x(t_I) = x_\tau$.

1) Ищем $\varphi(t, x_\tau)$ из соотношений (4) при $x = x^l(t; x_\tau)$. Выразив $x_\tau = \xi(t, x)$, находим $\varphi^0(t, x) = \varphi(t, \xi(t, x))$.

2) Строим приближенный синтез: $u(t, x) = \arg \max_{u \in U} R(t, x, u; \varphi^0)$, который, в силу свойств метода глобального улучшения, гарантирует выполнение неравенства $F(x^I(t_F; x_\tau)) \geq F(x^{II}(t_F; x_\tau))$ для любого $x_\tau \in R^n$. Здесь $x^{II}(t; x_\tau)$ – решение задачи Коши $\dot{x} = f(t, x, u(t, x))$, $x(t_I) = x_\tau$.

Таким образом, соотношения Беллмана для определения следующего приближения к синтезу управления существенно упрощаются и позволяют на некоторых классах задач отойти от приближенного задания искомой разрешающей функции $\varphi(t, x)$ в виде интерполяционного полинома для функции нескольких переменных, как было независимо предложено в работах различных авторов (например, [1–3, 5]).

Однако найденное управление $u(t, x)$ гарантирует улучшение начального программного управления лишь на одной итерации, т. к. выбор подходящего программного управления для следующей итерации оказывается в общем случае неочевидным.

2. Линейная система с управляемыми коэффициентами

Остановимся подробнее на случае непрерывной задачи

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A(t, u(t))x, t \in [t_I, t_F], x(t_I) = x_I, u \in U \subset R^p, \\ F(x(t_F)) &= \eta^T x(t_F) + x^T(t_F) \rho x(t_F) \rightarrow \min, \end{aligned} \quad (5)$$

где матрица ρ неположительно определена. Сформулируем для этой задачи теорему об улучшении начального программного управления на одной итерации с помощью построенного управления в форме синтеза из соотношений глобального алгоритма улучшения.

Теорема. Пусть $u^I(t)$ – некоторое допустимое управление задачи (5), τ – любое число из интервала $[t_I, t_F)$, x_τ – произвольный n -мерный вектор, $\Phi(t)$ – фундаментальная матрица решений системы $\dot{x} = A(t, u^I(t))x$, такая, что $\Phi(\tau)$ есть единичная матрица, а $\Psi(t)$ – фундаментальная матрица решений системы $\dot{x} = -A^T(t, u^I(t))x$, такая, что $\Psi(t_F)$ есть единичная матрица. Справедливо неравенство

$$F(x^{II}(t_F)) \leq F(x^I(t_F)),$$

где $x^I(t)$ – решение задачи Коши $\dot{x} = A(t, u^I(t))x, t \in [\tau, t_F], x(\tau) = x_\tau$, $x^{II}(t)$ – решение задачи Коши $\dot{x} = A(t, u(t, x))x, t \in [\tau, t_F], x(\tau) = x_\tau$, $u(t, x) = \arg \max_{u \in U} \left(- \left(2x^T (\Phi^{-1}(t))^T \Phi^T(t_F) \rho^T + \eta^T \right) \Psi^T(t) A(t, u)x \right)$.

Доказательство. Выберем произвольным образом допустимое управление $u^I(t)$, момент времени τ и n -мерный вектор x_τ . Проведем одну итерацию метода глобального улучшения управления для задачи (5) с на-

чальным управлением $u^l(t)$ и начальным условием $x(\tau) = x_\tau$. А именно, сначала найдем функцию $\varphi(t, x) = \psi^T(t)x$, где $\psi(t)$ – решение задачи Коши $\dot{\psi} = -A^T(t, u^l(t))\psi$, $\psi(t_F) = -\eta - 2\rho x^l(t_F)$, что следует из [4, 6]. Заметим, что $x^l(t_F) = \Phi(t_F)\Phi^{-1}(\tau)x_\tau$, следовательно, можно записать $\psi(t) = -\Psi(t)(\eta + 2\rho\Phi(t_F)\Phi^{-1}(\tau)x_\tau)$.

Тогда получим, что улучшение гарантирует функция

$$\begin{aligned} \tilde{u}(t, x; \tau, x_\tau) &= \arg \max_{u \in U} (\psi^T(t)A(t, u)x) = \\ &= \arg \max_{u \in U} \left(-(\eta + 2\rho\Phi(t_F)\Phi^{-1}(\tau)x_\tau)^T \Psi^T(t)A(t, u)x \right) = \\ &= \arg \max_{u \in U} \left(-\left(2x_\tau^T (\Phi^{-1}(\tau))^T \Phi^T(t_F)\rho^T + \eta^T \right) \Psi^T(t)A(t, u)x \right). \end{aligned}$$

Для доказательства теоремы осталось показать, что $\tilde{u}(\tau, x_\tau; \tau, x_\tau) = u(\tau, x_\tau)$. Убедимся в этом простой подстановкой

$$\begin{aligned} u(\tau, x_\tau) &= \arg \max_{u \in U} \left(-\left(2x_\tau^T (\Phi^{-1}(\tau))^T \Phi^T(t_F)\rho^T + \eta^T \right) \Psi^T(t)A(t, u)x \right) = \\ &= \tilde{u}(\tau, x_\tau; \tau, x_\tau). \end{aligned}$$

Теорема доказана.

3. Процесс поиска приближенного синтеза

Вышеизложенная теорема позволяет организовать вычислительный процесс поиска приближенного синтеза управления в заданной области изменения начальных условий $x_l \in X_l \subset R^n$. Будем предполагать, что поставленная задача поиска приближенного синтеза в заданной области решена, если известно приближенно оптимальное по функционалу управление в некоторой достаточно частой сетке узловых точек множества X_l . Очевидно, поставленная задача может быть решена как задача улучшения для каждого узла заданной сетки, что потребовало бы вычислений разрешающей функции для каждого узла на каждой итерации. С помощью вышедоказанной теоремы эти вычисления можно существенно сократить.

Для этого задается начальное управление $u^l(t)$, для которого проводится одна итерация алгоритма глобального улучшения с целью получения управления в форме синтеза $u(t, x)$. Обозначим это управление через $u^l(t, x)$. В силу вышеоказанной теоремы управление $u^l(t, x)$ улучшает начальное управление $u^l(t)$ для любого $x_l \in X_l$, и, следовательно, на первой итерации процесса нахождения разрешающей функции удалось провести одновременно для всех узловых точек. Далее, разбив сетку узловых точек на достаточно крупные подмножества, можно выбрать в каждом подмножестве начальную точку x_l и построить для второй итера-

ции программное управление $u''(t)$, решая систему с начальным условием $x(t_1) = x_1$, замкнутую управлением $u'(t, x)$. Теперь вторая итерация проводится отдельно в каждом подмножестве узловых точек для своего программного управления $u''(t)$. Это позволяет на второй итерации процесса найти разрешающую функцию одновременно для всех узловых точек текущего подмножества. Для следующей итерации каждое текущее подмножество опять разбивается на части, после чего шаги алгоритма повторяются аналогичным образом. Отметим, что в каждом подмножестве текущая итерация проходит независимо и при программной реализации может проводиться параллельно, сокращая тем самым время работы компьютерной программы.

Заключение

Показана возможность применения соотношений глобального алгоритма Кротова улучшения управления к поиску приближенного синтеза управления для динамических систем. Для случая линейной по состоянию динамической системы (линейной системы с управляемыми коэффициентами) при квадратичном критерии качества найдено аналитическое выражение синтеза управления на итерации алгоритма. Представленный вычислительный процесс позволяет существенно сократить число операций для поиска разрешающей функции на каждой итерации.

Литература

1. Кротов В.Ф., Букреев В.З., Гурман В.И. Новые методы вариационного исчисления в динамике полета. – М.: Машиностроение, 1969.
2. Беллман Р., Калаба Р. Динамическое программирование и современная теория управления. – М.: Наука, 1969.
3. Зубов В.И. Лекции по теории управления. – М.: Наука, 1975.
4. Трушкова Е. А. Алгоритмы глобального поиска оптимального управления // Автоматика и телемеханика. – 2011. – № 6. – С. 151-159.
5. Букреев В.З. Об одном методе приближенного синтеза оптимального управления // Автоматика и телемеханика. – 1968. – № 11. С. 5-13.
6. Кротов В.Ф., Булатов А.В., Батурина О.В. Оптимизация линейных систем с управляемыми коэффициентами // Автоматика и телемеханика. – 2011. – № 6. – С. 64-78.

Трушкова Екатерина Александровна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института проблем управления РАН, Москва, тел. (495) 334-79-51, e-mail: katerinatr@mail.ru

Trushkova Ekaterina Alexandrovna, candidate of physical and mathematical sciences, senior researcher, Institute of Control Sciences RAS, Moscow.

2. Информационные системы и технологии

УДК 004.056

© С.В. Исаев

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ – АКТИВЫ И УГРОЗЫ¹

В работе рассматривается международный стандарт по кибербезопасности. Перечислены основные элементы и их связи. Определены ключевые активы кибербезопасности для научно-образовательного учреждения. Рассматриваются возможные риски и их последствия. Предложен ряд мер по повышению безопасности в киберпространстве.

Ключевые слова: защита информации, кибербезопасность, стандарт, компьютерные сети.

© S.V. Isaev

CYBERSECURITY OF ACADEMIC AND EDUCATIONAL INSTITUTION – ITS ASSETS AND THREATS

The paper deals with the international standard for cybersecurity. Main elements and their relationships are listed. Key assets of cybersecurity of research and educational institutions have been identified. The possible risks and their consequences are considered. A number of measures to improve security in cyberspace are proposed.

Keywords: information protection, cybersecurity, standard, computer networks.

Введение

Развитие информационно-телекоммуникационных технологий приводит к тому, что все больше сфер человеческой деятельности напрямую оказываются связанными с информационным или киберпространством. Все большую актуальность приобретают вопросы кибербезопасности, киберугроз и кибервойн [1]. Причем в среде специалистов по информационным технологиям еще нет единого понимания этих терминов. В июле 2012 года был принят новый стандарт в области кибербезопасности ISO 27032:2012 «Информационные технологии. Методы обеспечения безопасности. Руководящие указания по обеспечению кибербезопасности» [2]. Он дает однозначное понимание связи кибербезопасности (cybersecurity) с

¹Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта № 21 «Исследование закономерностей и тенденций развития самоорганизующихся систем на примере веб-пространства и биологических сообществ».

сетевой безопасностью, прикладной безопасностью, интернет-безопасностью и безопасностью критичных информационных инфраструктур с точки зрения западных специалистов. Для российских ИТ-специалистов, безусловно, полезно изучить основные понятия данного стандарта для лучшего понимания западных коллег, а может быть, и друг друга.

Центральное место в стандарте занимает киберпространство, определяемое как сложная среда, возникающая как результат взаимодействия между людьми, программным обеспечением и интернет-сервисами, поддерживаемая посредством распространения информационно-телекоммуникационных устройств и сетей по всему миру. В киберпространстве часть проблем безопасности не покрывается существующими традиционными направлениями: информационная безопасность, интернет-безопасность, сетевая безопасность. Остаются пробелы, обусловленные большим количеством организаций и провайдеров услуг в киберпространстве и недостаточной взаимосвязью между ними.

Основные понятия и определения

Кибербезопасность (безопасность киберпространства) определяется как сохранение конфиденциальности, целостности и доступности информации в киберпространстве. Взаимосвязь кибербезопасности с соседними областями, определенная в стандарте, иллюстрируется на рис. 1.

Исходя из данного определения, кибербезопасность представляет собой набор средств, технологий, стратегий, принципов обеспечения безопасности, гарантий безопасности, подходов к управлению рисками, которые используются для защиты киберсреды, ресурсов организаций и пользователей. Понимание стандарта специалистами помогает подготовиться, идентифицировать, осуществлять мониторинг и реагировать на атаки: с применением социального инжиниринга, хакерство, вредоносные приложения (malware), шпионские приложения (spyware), другое нежелательное программное обеспечение.

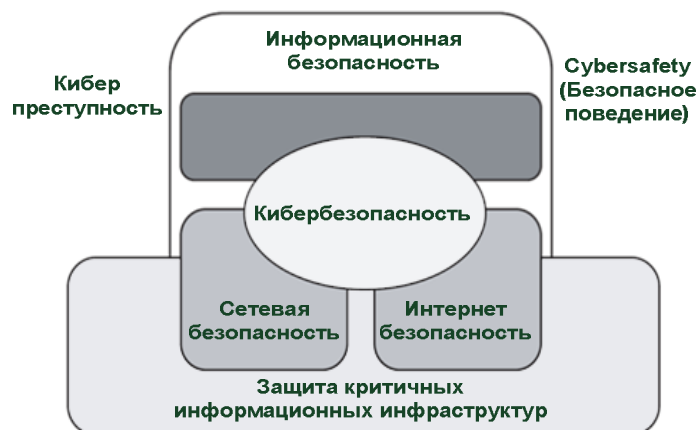


Рис. 1. Взаимосвязь кибербезопасности с другими технологиями

Главное внимание уделено защите информации корпоративных и иных пользователей при посещении интернет-сайтов, оплате счетов и использовании интернет-банкинга. Основными участниками киберпространства являются пользователи (частные и корпоративные) и операторы (сетей связи и различных телекоммуникационных приложений). Под угрозу ставятся активы, которые можно разделить на персональные и корпоративные, виртуальные и физические. Средства реагирования на киберугрозы разделяют на превентивные, реактивные и обнаруживающие. На рис. 2 приводится модель отношений объектов киберпространства, позволяющая понять все аспекты их взаимодействия.

Также в сфере кибербезопасности используется определение «агент угрозы» – человек или группа людей, выполняющих или поддерживающих атаку. Под уязвимостью актива понимают слабую защищенность актива или управления, которая может использоваться угрозой.

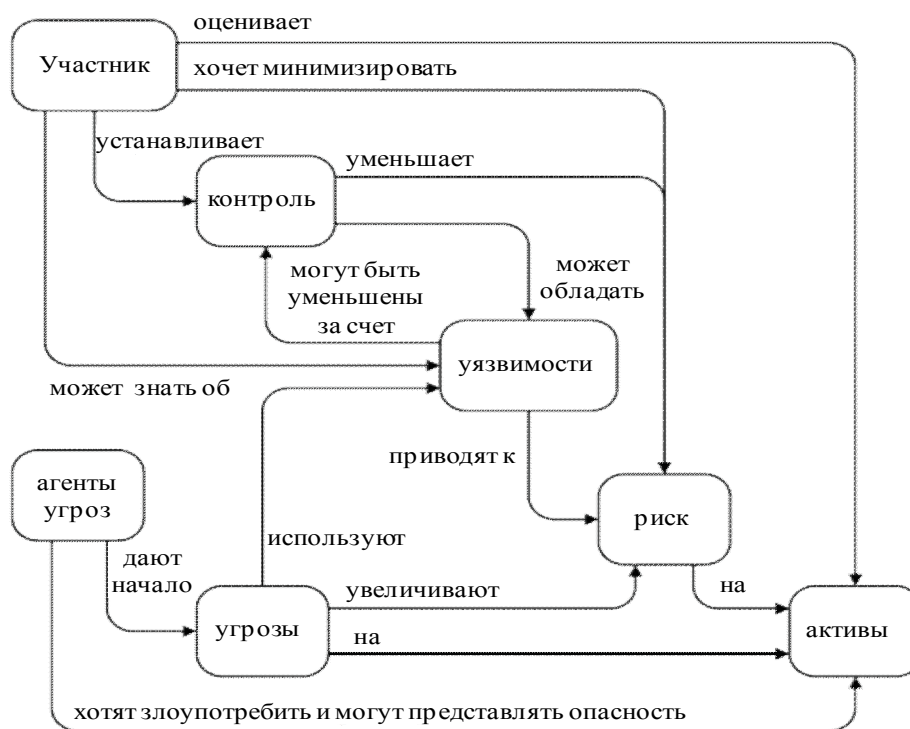


Рис. 2. Модель отношений объектов безопасности киберпространства

Отдельно стоит упомянуть термин «cybersafety», который не имеет прямого перевода и понимается как принципы безопасного поведения в киберпространстве. Очень часто, пользуясь интернет-сервисами, социальными сетями и прочими элементами киберпространства, у людей возникает ложное представление о приватности и защищенности помещаемой в киберпространство информации. Фотографии, видео, персональная информация – все это размещается в сети для друзей, но может в любой

момент использоваться и злоумышленниками. Именно поэтому безопасному поведению в киберпространстве нужно начинать учить одновременно со знакомством с компьютером.

Основные предлагаемые в стандарте методы оценки и устранения рисков:

1. Идентификация критических активов: использование терминологии киберпространства расширяют область активов. Поскольку экономически нерентабельно защитить все активы, важно идентифицировать критические активы и предусмотреть специальные меры для их защиты. Выделение происходит из контекста бизнеса, посредством рассмотрения воздействия потери или ухудшения актива на бизнесе в целом.
2. Идентификация рисков: участники должны рассмотреть дополнительные риски, угрозы и атаки, появляющиеся при включении в киберпространство.
3. Ответственность: участник киберпространства должен нести дополнительную ответственность перед другими участниками.
4. Отключение систем и сервисов: если система или сервис перестает использоваться, то они должны быть удалены, что гарантирует прекращение воздействия и уменьшение угроз на связанные сервисы и интерфейсы.
5. Взаимодействие: подход к управлению рисками применяется ко всему киберпространству. На участников киберпространства возлагаются обязанности планирования на случай непредвиденных ситуаций, аварийного восстановления, развития и внедрения защитных программ для систем под их контролем или в их собственности.

Кибербезопасность научно-образовательного учреждения

Рассмотрим основные активы киберпространства в контексте научно-образовательного учреждения:

1. Информация и программное обеспечение – виртуальные активы. Все, что хранится на носителях и передается по сетям, принадлежит рассматриваемой организации.
2. Физические устройства, такие как компьютеры, принтеры, сетевые устройства и прочие устройства, связанные с киберпространством – материальные активы, которые могут быть атакованы из киберпространства.
3. Телекоммуникационные сервисы, такие как корпоративная электронная почта, веб-сайты организации, информационно-справочные и библиотечные системы, корпоративная связь, являются виртуальными, но очень важными для эффективного функционирования научного учреждения.
4. Люди, их квалификация, умения и опыт – эти активы находят свое отражение в киберпространстве. За счет изменения информации о

людях в киберпространстве можно нанести серьезный вред как конкретному человеку, так и организации.

5. Репутация, имидж организации и ее работников являются нематериальными активами и могут быть испорчены за счет формирования ложного образа в киберпространстве, например размещения на информационных ресурсах ложных сообщений, ложных отзывов и т.д.
6. Средства на банковских счетах – нематериальные активы, которые могут быть уязвимы из киберпространства.

Приведенный список активов можно расширять, в том числе с учетом специфики источников угроз для сети научно-образовательного учреждения и их динамики [3]. Но даже безопасность перечисленных активов уже не всегда может быть обеспечена традиционными средствами защиты информации. Например, имидж организации, формирующийся в том числе и в киберпространстве, можно отслеживать и защищать с помощью мониторинга динамики поисковых запросов об организации. При обнаружении резких изменений следует проанализировать причины и принять адекватные меры. Также безопасность части активов, таких как телекоммуникационные сервисы, невозможно обеспечить только на уровне организации, так как они тесно связаны с киберпространством. Для защиты в этом случае требуется совместная работа с операторами связи и постоянный мониторинг доступности сервиса из ключевых точек киберпространства.

В Институте вычислительного моделирования СО РАН действует система противодействия попыткам несанкционированного доступа, позволяющая отслеживать динамику угроз (рис. 3). Она основана на замене стандартных служб удаленного входа у серверов на собственные службы. При обнаружении попытки соединения с такой службой в журнале событий фиксируется дата и сетевой адрес источника. После этого адрес источника блокируется на сутки на внешнем маршрутизаторе. Блокировка предотвращает все попытки соединения с любыми интернет-службами серверов сети Красноярского научного центра с потенциально неблагонадежного адреса. После установления соединения обычно следуют попытки авторизации путем подбора паролей или выявление возможных уязвимостей сетевых служб атакуемого сервера.

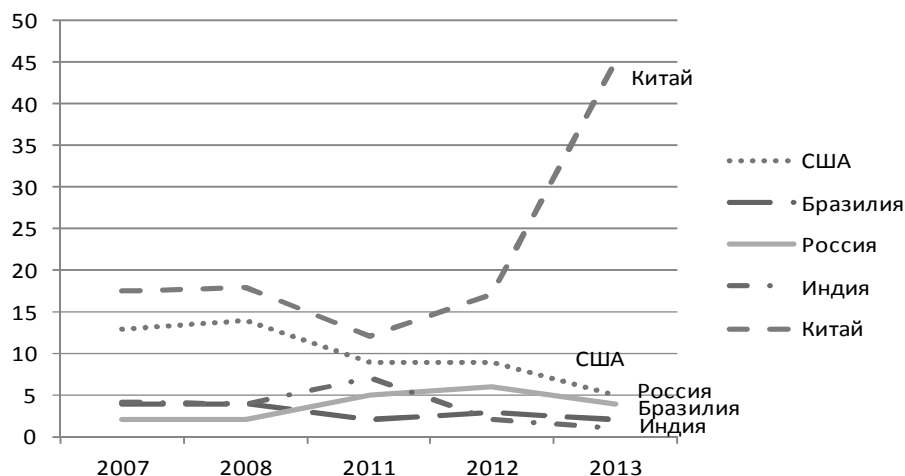


Рис. 3. Доля попыток несанкционированного доступа за 2008–2012 годы

Обработка журнала работы данной системы позволяет подсчитать количество попыток соединения и фиксировать их адреса. Принадлежность адресов странам можно проверить по общедоступным базам зарегистрированных IP-адресов. Не все адреса присутствуют в базах и не все попытки соединения несут угрозу.

Анализ журнала системы за июнь-август 2013 года показывает, что количество угроз постоянно увеличивается. Также интересен факт увеличения доли угроз со стороны китайских сетей более чем в два раза за последние пять лет, несмотря на использование национальной системы фильтрации трафика.

В настоящее время в ИВМ СО РАН активно используются системы мониторинга критичных интернет-сервисов, уязвимых из киберпространства. Ведется разработка моделей безопасности веб-сервисов, ориентированных на использование в киберпространстве [4]. Также проектируется система мониторинга, которая могла бы анализировать количественные и семантические характеристики исследуемых веб-сайтов. Использование такой системы совместно с поисковыми системами позволит отслеживать характеристики таких активов киберпространства, как имидж организации, ее сотрудников.

Заключение

Рассмотрение всех информационно-телекоммуникационных активов научно-образовательной организации в контексте безопасности киберпространства позволяет выявить новые критические активы и недостатки в их безопасности. Комплексные методы противодействия, предлагаемые стандартом кибербезопасности, позволяют найти приемлемые решения, обеспечивающие безопасность активов киберпространства.

Литература

1. Капто А.С. Кибервойна: генезис и доктринальные очертания // Вестник Российской академии наук. – 2013. – Т. 83, № 7. – С. 616-625.
2. ISO/IEC 27032:2012 Information technology — Security techniques — Guidelines for cybersecurity.
3. Исаев С.В. Анализ динамики интернет-угроз сети Красноярского научного центра СО РАН // Вестник СибГАУ. – 2012. – Вып. 3 (43). – С. 20-25.
4. Кононов Д.Д., Исаев С.В. Модель безопасности веб-приложений на основе мандатного ролевого разграничения доступа // Вестник Бурятского государственного университета. – 2012. – Вып. 9. – С. 29-33.

Исаев Сергей Владиславович, кандидат технических наук, доцент, зав. отделом Института вычислительного моделирования СО РАН. 660036, Красноярск, Академгородок, 50, стр.44, ИВМ СО РАН, тел. (391) 2494767. E-mail: si@icm.krasn.ru

Isaev Sergey Vladislavovich, candidate of technical sciences, associate professor, head of the department, Institute of Computational Modeling SB RAS 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50, bld.44, ICM SB RAS, phone (391) 2494767. E-mail: si@icm.krasn.ru

УДК 004.65

© *В.В. Ковалевский, Л.П. Брагинская, А.П. Григорюк*

УПРАВЛЕНИЕ ДАННЫМИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ WEB-ТЕХНОЛОГИЙ¹

В статье рассматриваются концептуальные основы, архитектура и программное обеспечение web-ориентированной информационно-вычислительной системы для управления структурированными и неструктурированными данными натуральных и вычислительных экспериментов. Система обеспечивает пользователей поисковым, вычислительно-аналитическим и ГИС-сервисами для эффективной работы с данными.

В качестве примера практической реализации предложенной архитектуры представлена разработанная авторами доклада информационно-вычислительная система «Вибросейсмическое просвечивание Земли» для управления данными, полученными в ходе экспериментов по активному вибросейсмическому мониторингу.

Ключевые слова: информационно-вычислительная система, вибросейсмический мониторинг.

© *V.V. Kovalevsky, L.P. Braginskaya, A.P. Grigoryuk*

EXPERIMENTAL DATA MANAGEMENT USING MODERN WEB TECHNOLOGIES

Conceptual bases, architecture and software of web-oriented data-processing system for managing structured and unstructured data of natural and computational experiments are considered. The system provides search, computational analytical and GIS services for effective work with the data.

As an example of the practical implementation of proposed architecture the data-processing system "Vibroseismic Earth Sounding" developed by the authors of the report is presented for management the data obtained during the experiments on active vibroseismic monitoring.

Keywords: data-processing system, vibroseismic monitoring.

Введение

Согласно определению международной организации DAMA (The Data Management Association International) управление данными – набор процессов, обеспечивающих накопление, организацию, запоминание, обновление, хранение, обработку данных и поиск информации. В настоящее время роль информации и ее обработки в научных исследованиях становится доминирующей. Это связано с тем, что современные высокоточные

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, гранты № 05-07-90081 и № 07-07-00106.

научные инструменты, применяемые при проведении экспериментов, порождают большие объемы данных. Также приходится работать с большими объемами синтетических данных, полученных при численном моделировании. Считается, что каждый год объем этих данных почти удваивается, достигая во многих научных областях терабайтных размеров на исследовательскую группу, работающую над конкретным проектом [1]. С другой стороны, для обнаружения «тонких» эффектов во вновь получаемых высокоточных данных требуются все более ресурсоемкие алгоритмы анализа. Следует также отметить коллективность и узкую специализацию современных научных исследований при широкой географии участников конкретного проекта.

В этих условиях представляется целесообразным централизованное управление научными данными с переносом собственно данных и программ для их анализа и визуализации на сервер и организацией интерактивного доступа пользователей через Интернет. Далее рассматриваются основные вопросы, связанные с разработкой подобных систем.

1. Модель данных

Организация структурированных табличных (реляционных) данных или метаданных обычно затруднений не вызывает. Для этого идеально подходят реляционная модель и язык SQL, лежащие в основе современных СУБД. Сложнее обстоит дело с данными, получаемыми от сенсоров и численных моделей в процессе эксперимента, представляющими собой п-мерные, в общем случае числовые массивы, которые не могут быть структурированы и поэтому не поддерживаются реляционными СУБД непосредственно.

В настоящее время для работы одновременно с реляционными и нереляционными данными в основном используют одну из двух архитектур:

- как реляционные, так и нереляционные данные находятся в базе данных;
- реляционные данные находятся в базе данных, а нереляционные данные – в файловых системах или на файловых серверах.

Каждый из этих двух подходов имеет свои преимущества и недостатки. В первом случае одна база данных становится удобным централизованным хранилищем для обоих типов данных. Однако нереляционные данные хранятся в формате больших двоичных объектов (BLOB), скорость доступа к этим объектам существенно уступает скорости доступа к файлам. Во втором случае обеспечивается высокая скорость доступа, но усложняется разработка приложений и управление ими, так как приложения должны поддерживать согласованность между записями в базе данных и файлами, связанными с этими записями. Данную проблему можно частично или полностью решить за счет модели данных, обеспечивающей эффективную индексацию файловой системы из базы данных.

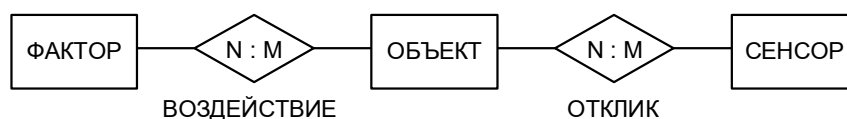


Рис. 1. Концептуальная модель эксперимента

При построении концептуальной модели предметной области мы исходили из того, что экспериментально изучаемому объекту может быть приписан определенный набор параметров, соответствующий представлениям исследователей о состоянии и поведении этого объекта. Параметры – это то, что можно измерять, наблюдать и изменять в процессе исследований. В процессе экспериментов на изучаемый объект воздействуют некоторые факторы с контролируруемыми параметрами, и с помощью сенсоров регистрируется ряд параметров объекта при фиксированных других параметрах. Тогда концептуальную модель эксперимента можно представить с помощью приведенной на рис. 1 ER-диаграммы (диаграмма «сущность-связь»).

Диаграмма содержит три класса сущностей: ОБЪЕКТ, ФАКТОР и СЕНСОР. Каждый класс с набором атрибутов, определяемых конкретной областью исследований. Взаимоотношения сущностей выражаются двумя классами связей: ВОЗДЕЙСТВИЕ и ОТКЛИК. В случае пассивного эксперимента или наблюдения класс сущностей ФАКТОР может отсутствовать.

Для перехода к реляционной модели данных заменим сущности и связи ER-диаграммы на соответствующие отношения R с первичными ключами K и атрибутами A :

- ОБЪЕКТ – $R1(K1, A11, A12, …)$;
- ФАКТОР – $R2(K2, A21, A22, …)$;
- СЕНСОР – $R3(K3, A31, A32, …)$;
- ВОЗДЕЙСТВИЕ – $R4(K1, K2)$;
- ОТКЛИК – $R5(K1, K3)$.

Вспомогательные отношения $R4$ и $R5$ служат для организации связи типа $M:N$ (многие-ко-многим) между отношениями $R1, R2$ и $R1, R3$ соответственно. Первичными ключами K могут служить, например, порядковые номера кортежей соответствующих отношений. Результирующее отношение, формируемое в результате выполнения запроса, предполагающего обращение к файловому архиву, должно содержать набор ключевых атрибутов $K1, K2, K3$. Такая модель позволяет организовать адресацию файлового архива, имеющего следующую иерархическую структуру:

$root \setminus K1 \setminus K2 \setminus K3 \setminus \langle \text{файлы данных} \rangle$

Данная структура соответствует естественной древовидной структуре файловой системы. Имена файлов данных образуются конкатенацией атрибутов $K1, K2, K3$.

Предложенная модель данных в сочетании со способом адресации неструктурированных данных обеспечивает естественную однозначную связь между записями в базе данных и соответствующими файлами. В то

же время пользователи могут полностью абстрагироваться от имен или шаблонов имен файлов и каталогов, работая только с атрибутами, каталогизирующими свойства и происхождение каждого файла.

Как и модель эксперимента, модель данных является обобщенной, ее необходимо адаптировать для каждой конкретной предметной области и вида экспериментов. В большинстве случаев может потребоваться декомпозиция отношений ОБЪЕКТ, ФАКТОР и СЕНСОР с учетом функциональных зависимостей между атрибутами.

2. Структурная схема

Структурная схема информационно-вычислительной системы (ИВС), реализующей изложенную выше концепцию управления данными научных экспериментов, представлена на рис. 2. Пользователи взаимодействуют с системой с помощью стандартного web-браузера, посылая запросы на поиск, анализ и визуализацию данных. В запросе на поиск указываются интересующие пользователя параметры объекта, параметры воздействующих на объект факторов и параметры сенсоров, регистрирующих данные. Запрос на анализ должен содержать перечень процедур анализа, которые будут применены к найденным данным, и параметры этих процедур.

В результате выполнения запроса на поиск из базы данных извлекаются необходимые для обращения к файловому архиву атрибутивные данные. На основе этих данных web-приложение формирует адреса файлов в архиве и передает их модулю анализа. Модуль анализа представляет собой приложение, выполняющее анализ данных в соответствии с алгоритмами, применяемыми в конкретной области экспериментальных исследований. В большинстве случаев это классические и специальные математико-статистические процедуры анализа многомерных числовых массивов.

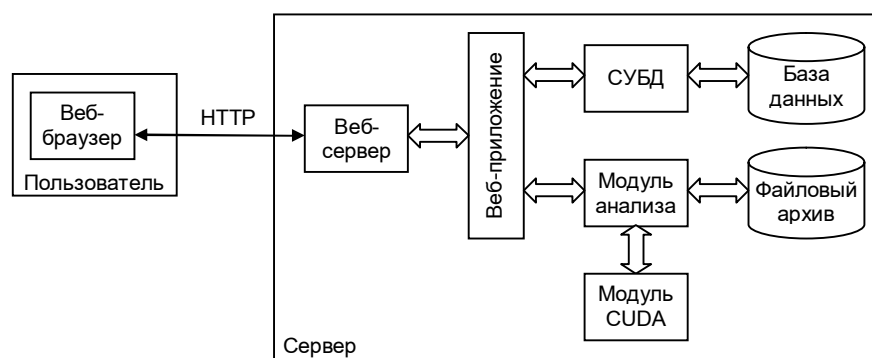


Рис. 2. Структурная схема информационно-вычислительной системы

Для обеспечения необходимого для on-line режима быстродействия при обработке данных ресурсоемкие вычислительные процедуры могут

выполняться программно-аппаратным модулем на основе архитектуры CUDA. В модуле применяются графические процессоры (GPU) и математические библиотеки компании NVIDIA [3]. За счет многоядерной параллельной архитектуры GPU превосходят по быстродействию процессоры общего назначения (CPU) на 1–3 порядка при выполнении большинства вычислительных процедур.

Полученные в результате анализа числовые массивы возвращаются web-приложению, которое «на лету» формирует графики, таблицы, текст и отправляет всё это пользователю в виде готовой web-страницы. Конечное представление информации реализуется при помощи клиентских технологий JavaScript, HTML и стилевых таблиц CSS.

Конкретная аппаратно-программная реализация структурной схемы рис. 2 определяется масштабами системы, сложностью применяемых алгоритмов анализа, количеством пользователей и т.д.

3. Управление геопространственными данными

Во многих научных областях (геофизика, экология и т.д.) исследователи имеют дело с пространственно обусловленными данными или геоданными. Поэтому архитектура ИВС должна предусматривать подсистему управления геоданными и картографическую подсистему.

Большинство современных СУБД, как коммерческих, так и свободно распространяемых, поддерживают класс пространственных данных непосредственно или с помощью специальных расширений. Картографические сервисы, в частности web-сервисы, до недавнего времени строились преимущественно на основе специализированного серверного ПО, позволяющего публиковать в сети Интернет карты, сопровождаемые базовым ГИС-инструментарием. Однако в последние годы в Интернете все большее распространение получают гибридные ГИС. В таких системах геоданные из прикладной базы данных интегрируются с картографическим сервисом, предоставляемым специализированным web-сервером. На сегодняшний день наиболее развитым картографическим web-сервисом является Google Maps компании Google. Сервис базируется на данных дистанционного зондирования (спектрозональные снимки со спутников Landsat, SPOT, Quickbird с разрешением до 0.68 м), совмещенных с топографическими картами в проекции Меркатора. Компания Google предоставляет пользователям интерфейс Google Maps API в виде классов объектов JavaScript для генерации карт и нанесения на них собственных маркеров, контуров, а также готовых слоев в формате KML. Данные для отображения могут находиться как непосредственно в коде web-страниц, так и во внешних XML и KML файлах.

4. ИВС «Вибросейсмическое просвечивание Земли»

На основе изложенной выше концепции нами была разработана база данных и web-ориентированная информационно-вычислительная система «Вибросейсмическое просвечивание Земли». Система предназначена для

управления данными экспериментов по активному вибросейсмическому мониторингу литосферы, которые проводились на протяжении 1995–2012 годов институтами Сибирского отделения Российской академии наук совместно с другими отечественными и зарубежными научными организациями.

Последние 30 лет в экспериментальной геофизике активно развивается новое направление – активная сейсмология, в котором для изучения строения земной коры и верхней мантии, а также исследования геодинамических процессов в зонах землетрясений и вулканов используются управляемые источники сейсмических волн – мощные сейсмические вибраторы, гидромеханические и электромагнитные импульсные источники. Это направление сформировалось в рамках научной программы «Вибрационное просвечивание Земли», выполнявшейся в Сибирском отделении РАН в 1970–1990 гг. под руководством академика А.С. Алексеева. За эти годы была создана экспериментальная база метода – мощные сейсмические вибраторы, системы регистрации вибрационных сигналов и системы компьютерной обработки вибросейсмических данных, а также выполнен большой объем экспериментов по вибрационному зондированию Земли в различных регионах России [4].

В настоящее время работы по активной сейсмологии проводятся в России, Японии, Китае, США, европейских странах. В Японии с вибросейсмической системой ACCROSS проводится мониторинг сейсмоопасных и разломных зон земной коры. В США в зоне разлома Сан-Андреас проводится мониторинг напряженного состояния разлома с использованием сейсморазведочных вибраторов. С участием ИВМиМГ СО РАН в рамках экспериментальных исследований проводился вибросейсмический мониторинг литосферы в Алтае-Саянском регионе, Байкальской рифтовой зоне, Таманской грязевулканической провинции, на профиле Улан-Удэ – Улан-Батор.

В сейсмологии основным источником волн является землетрясение – природный процесс, не управляемый ни по времени, ни по месту возникновения, ни по энергетике. С применением мощных сейсмических вибраторов были разработаны новые геотехнологии, которые позволяют избежать ряда ограничительных обстоятельств сейсмологии землетрясений и больших взрывов. Вибрационные геотехнологии имеют следующие преимущества:

- точно определенные координаты источника и времени его работы;
- повторяемость эксперимента;
- возможность возбуждения колебаний с заданными параметрами;
- возможность автоматизации управления экспериментом;
- повсеместность применения;
- экологическая безопасность, т.к. регистрируемый сигнал находится под микросейсмами, а необходимые соотношения сигнал/шум обеспечиваются накоплением.

К методам активной сейсмологии также относят экспериментальные

работы, в которых регистрируется сейсмическое поле природных источников по технологии, определенной конкретной задачей геофизики, например сейсмоэмиссионная томография вулканических структур с регистрацией микросейсмических событий из активной области вулкана. К таким работам можно отнести уникальный эксперимент по регистрации низкоэнергетических сейсмических событий в районе Эльбрусского вулканического центра, проведенный ИВМиМГ СО РАН в 2010 г. с использованием впервые созданной 2,5-километровой сейсмической антенны в штольне Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН.

ИВС реализует следующие основные функции:

- получение подробной информации по любому из проведенных экспериментов (метаданные);
- поиск в базе данных одновременно по 18 параметрам вибропросвечивания (типы источников, вид и параметры сигналов, географические координаты и др.);
- интерактивный on-line анализ (корреляционный, спектральный, спектрально-временной и т.д.) найденных сейсмотрасс с отображением результатов непосредственно в web-браузере пользователя;
- построение по результатам поиска интерактивных карт и спутниковых снимков с обозначенными источниками и регистраторами сейсмических волн.

В настоящее время система доступна по адресу <http://opg.sssc.ru>.

Заключение

В работе представлены концептуальные основы, архитектура и программное обеспечение информационно-вычислительной системы для поддержки экспериментов, проводимых научными коллективами, состоящими из специалистов, территориально удаленных друг от друга. Система также может использоваться в качестве учебного пособия для студентов геофизических и информационных специальностей. Разработанное инвариантное ядро системы обеспечивает эффективное управление неструктурированными данными, получаемыми в ходе экспериментов от приборов или компьютерных моделей. Практическая реализация показана на примере ИВС «Вибросейсмическое просвечивание Земли».

Литература

1. Gray J., Liu D.T., Nieto-Santisteban M., Szalay A., DeWitt D. and Heber G. Scientific Data Management in the Coming Decade // SIGMOD Record, Vol. 34, No. 4, Dec. 2005.
2. Ковалевский В.В., Брагинская Л.П., Григорюк А.П. Информационно-аналитическая система для вибросейсмических исследований // Проблемы информатики. – 2013. – №3. – С. 22-29.
3. CUDA Parallel Computing Platform. URL: http://www.nvidia.ru/object/cuda_home_new_ru.html.
4. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками /

В.В. Ковалевский, Л.П. Брагинская, А.П. Григорюк. Управление данными экспериментов с использованием современных web-технологий

А.С. Алексеев [и др.] – Новосибирск: Филиал «Гео» издательства СО РАН, 2004. – 375 с.

Ковалевский Валерий Викторович, доктор технических наук, заместитель директора, Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, тел. (384) 3307196, e-mail: kovalevsky@sscc.ru

Брагинская Людмила Петровна, ведущий программист, Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, тел. (384) 3307069, e-mail: ludmila@opg.sccc.ru

Григорюк Андрей Павлович, научный сотрудник, Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, тел. (384) 3308743, e-mail: and@opg.sccc.ru

Kovalevsky Valery Victorovich, doctor of technical sciences, deputy director, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS.

Braginskaya Lyudmila Petrovna, leading programmer, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS.

Grigoryuk Andrey Pavlovich, researcher, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS.

УДК 004.42

© *Д.Д. Кононов, Д.В. Жучков*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ АУКЦИОНОВ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

В статье описан комплекс программных средств, использующихся для создания электронной торговой площадки муниципального уровня. Представлены цели и задачи создания площадки, структура и функции программного обеспечения, роли пользователей и функции подсистемы защиты информации.

Ключевые слова: электронная торговая площадка, электронный аукцион, муниципальные торги, Интернет, информационная безопасность.

© *D.D. Kononov, D.V. Zhuchkov*

AUTOMATION OF CONDUCTING OPEN ELECTRONIC AUCTIONS USING THE INTERNET

The article describes a software complex for municipal electronic trading system. Main goals and tasks of development the trading system, software structure and functions, users roles, and functions of security subsystem are described.

Keywords: electronic trading system, electronic auction, municipal auction, the Internet, information security.

Введение

Активное развитие новых информационно-коммуникационных технологий позволяет решать новые задачи на региональном и муниципальном уровнях управления. Одной из таких задач является организация открытых торгов на право распоряжения муниципальным имуществом. Сложившаяся на сегодня нормативно-правовая база обязывает муниципальные органы власти реализовывать права распоряжения имуществом на конкурентной основе в ходе открытых торгов [1, 2]. Особенностью электронных аукционов по продаже прав распоряжения объектами муниципальной собственности являются высокие требования к соблюдению нормативно установленных процедур и защите информации, в том числе за счет использования средств электронной подписи.

Современное состояние вычислительной техники, телекоммуникаций и уровень распространения средств цифровой подписи обеспечивают возможность проведения таких торгов в форме открытых электронных аукционов в сети Интернет. Специалистами Института вычислительного моделирования СО РАН разработан комплекс программного обеспечения, позволяющего организовать электронную торговую площадку для проведения открытых электронных аукционов для нужд муниципалитета.

Цели и задачи электронной торговой площадки

Целью создания электронной торговой площадки является повышение эффективности местного самоуправления за счет создания конкурентных условий при реализации прав пользования муниципальным имуществом – земельными участками, находящимися в собственности муниципалитета. Реализация прав на пользование муниципальным имуществом осуществляется посредством организации на электронной торговой площадке открытых торгов в форме электронного аукциона с повышением цены. Победитель аукциона получает право на заключение срочного договора на пользование имуществом.

Комплекс программных средств электронной торговой площадки решает ряд задач по организации электронных аукционов, в их числе:

- публикация документации по электронным аукционам;
- прием и рассмотрение заявок на участие в аукционах;
- проведение электронных аукционов;
- автоматизированное подведение итогов аукционов;
- обеспечение сервисных функций;
- защита информации хранилища данных.

Публикация сведений о предстоящих электронных аукционах предполагает размещение извещений и документации по аукционам в открытой части площадки, доступной всем посетителям. Публикация извещений и прочих документов осуществляется с использованием специализированного программного обеспечения – системы «Библиотека документов», входящего в комплекс Автоматизированной системы поддержки процессов размещения и планирования муниципального заказа [3, 4]. Набор документов, подлежащих публикации, подготавливается организатором торгов и передается оператору для публикации на площадке. Передача документов на площадку осуществляется с рабочих мест специалистов оператора площадки по протоколу HTTP(S). Все публикуемые на площадке документы подписываются электронной подписью ответственного лица. Дополнительно в открытой части площадки размещаются общие сведения о работе площадки: регламент, инструкции, нормативные акты, новости и уведомления.

После публикации аукционной документации на площадке начинается этап сбора заявок на участие в аукционе, в ходе которого потенциальные участники аукционов регистрируются на площадке и подают заявки на участие.

Пользователям площадки доступна процедура регистрации, которая заключается в заполнении регистрационной анкеты и ее подписании с помощью электронной подписи. Все значимые операции по регистрации пользователей и подаче заявок подтверждаются электронной подписью участника аукциона. Электронная площадка принимает сертификаты электронных подписей, выданные авторизованными удостоверяющими

центрами. Авторизация удостоверяющего центра осуществляется оператором площадки согласно внутренним нормативным документам.

В ходе подачи заявок на участие в аукционе пользователи площадки формируют пакет электронных документов в соответствии с требованиями аукционной документации и регламентом работы электронной площадки. При подаче заявки весь пакет документов заверяется электронной подписью участника.

Поступившие заявки на участие в аукционе в установленный срок передаются на рассмотрение специалистам организации, отвечающей за проведения торгов, – организатору торгов. Специалисты организатора торгов рассматривают поступившие заявки и принимают решение о допуске заявителя к участию в аукционе или отказе в допуске. Принятое решение вводится в личном кабинете организатора торгов. По результатам рассмотрения заявок осуществляется автоматическое уведомление заявителей путем рассылки электронных писем на адреса, указанные при регистрации.

Процедура проведения электронного аукциона начинается в назначенное время автоматически. Оператору площадки доступны средства контроля проведения аукциона, а также его приостановки в случае непредвиденных обстоятельств. В ходе проведения аукционов от зарегистрированных участников поступают предложения о цене аукциона, заверенные электронными подписями участников. Формирование ценовых предложений производится средствами площадки автоматически на основе текущей цены и шага аукциона. Задачей участника аукциона на этом этапе является оценка текущей цены аукциона и подписание подаваемых ценовых предложений своей электронной подписью в случае согласия заключения контракта по текущей цене (рис. 1).

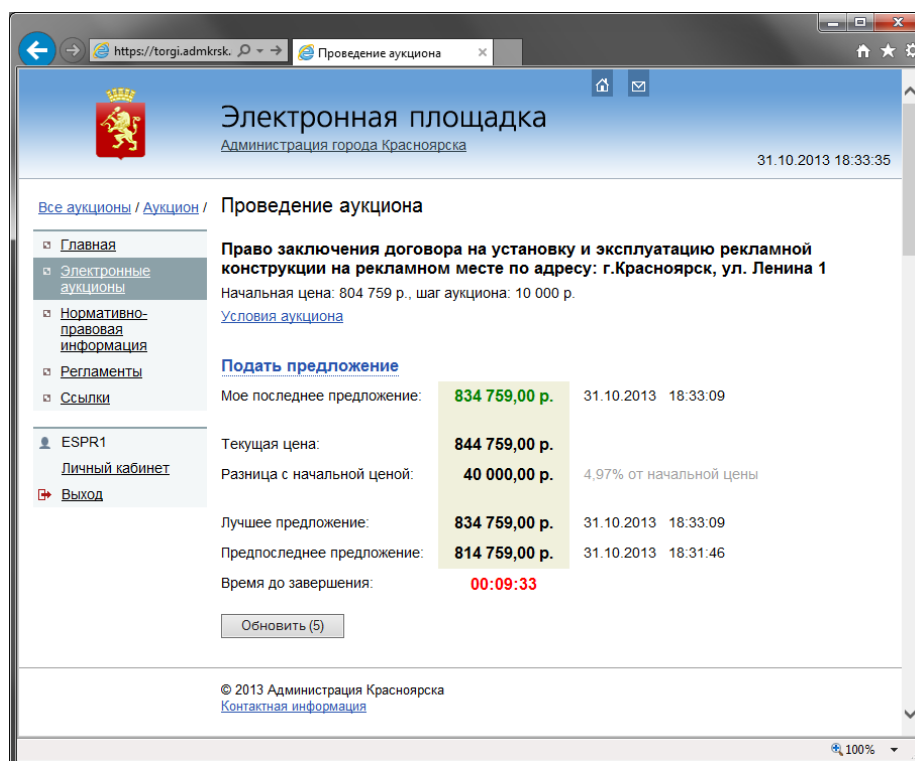


Рис. 1. Пример хода аукциона

После окончания аукциона проводятся процедуры подведения итогов и формирования итоговой документации. Итоги аукционов подводятся автоматически на основании информации о ценовых предложениях участников аукционов. В результатах аукционов отображаются участники, подавшие лучшее (наибольшее) ценовое предложение и предпоследнее предложение. Участник, подавший лучшее предложение, признается победителем аукциона. По результатам аукциона выполняется автоматическая генерация итогового протокола, который содержит сведения о предмете аукциона, его участниках, победителе и участнике, сделавшем предпоследнее предложение, а также информацию, необходимую для заключения контракта. Сформированный итоговый протокол подписывается победителем и организатором торгов с помощью электронных подписей. После подписания организатором протокол размещается в публичной части площадки.

Ряд действий площадки, предусмотренных регламентом (подведение итогов аукциона, публикация документов и др.), сопровождается автоматической рассылкой подтверждающих электронных писем участникам аукционов.

Программное обеспечение электронной площадки предоставляет сервисные функции для оператора площадки и организаторов торгов. Сервисные функции включают работу со статистикой, управление списком

авторизованных удостоверяющих центров и списком пользователей, мониторинг состояния системы. Статистика автоматически формируется после завершения аукциона, содержит сведения обо всех аукционах, участниках и аукционах, в которых принимал участие данный участник. Статистика позволяет получать информацию в разрезе аукционов и участников, проводить анализ по проведенным аукционам. Система позволяет гибко управлять списком авторизованных удостоверяющих центров, сертификаты которых принимаются для работы на площадке. Каждый удостоверяющий центр имеет свой список корневых сертификатов. Имеется возможность массового добавления сертификатов.

Для обеспечения корректной работы площадки выполняется журналирование всех значимых действий, производимых пользователями. Информация о событиях на площадке накапливается в системных журналах для дальнейшего анализа и выявления нестандартных ситуаций. Оператор площадки может выполнять мониторинг работы системы, просматривая и анализируя системные журналы и журнал аукционов.

Роли пользователей площадки

Для разделения доступа к информации, хранящейся на площадке, и функциям программного обеспечения используется расширенная ролевая модель безопасности RBAC [5]. На площадке выделено несколько основных ролей пользователей:

- анонимные пользователи – имеют доступ к аукционной документации и результатам торгов;
- участники торгов – юридические и физические лица, субъекты малого и среднего предпринимательства, которые участвуют в открытых электронных аукционах;
- организаторы торгов – выполняют функции по подготовке аукционной документации и заключению договоров с победителями аукционов;
- оператор площадки – отвечает за работоспособность площадки и соблюдение регламента проведения аукционов.

Порядок работы площадки зависит от роли текущего пользователя и наличия у него полномочий на площадке. Анонимные пользователи имеют доступ только к открытой части площадки, содержащей публичную информацию, а также к разделу регистрации на площадке. Авторизованные пользователи (оператор, организаторы и участники) имеют доступ к дополнительным функциям площадки в зависимости от своей роли. При утрате зарегистрированным пользователем своего логина и/или пароля он может их восстановить, имея действующий сертификат электронной подписи.

Участник аукциона имеет возможность подавать заявки на участие в аукционе и принимать участие в аукционе – подавать ценовые предложения, а также подписывать итоговый протокол. Участник имеет доступ к личному кабинету, в котором он может изменить пароль и сертификат

электронной подписи, а также состав документов в разделе «Избранные документы». Участнику доступен раздел «Мои аукционы», в котором отображаются аукционы, на которые он подал заявку.

Организатор торгов имеет возможность просматривать список заявок, поданных на аукционы, в которых он является организатором. Организатор может рассматривать (одобрять или отклонять) заявки на участие в аукционе. У организатора имеется возможность просматривать список итоговых протоколов своих аукционов и подписывать протоколы завершённых аукционов. Организатору доступен личный кабинет, в котором он может менять пароль и сертификат электронной подписи.

Оператор площадки имеет возможность анализировать активность на площадке, публиковать новости и приостанавливать идущие аукционы. Оператор может просматривать журнал аукционов, в котором содержится информация о ходе проведения аукционов. Доступны для просмотра уведомления, посылаемые участникам по электронной почте, заявки и итоговые протоколы. Также оператор имеет доступ к разделу «Статистика», в котором отображается статистическая информация по аукционам и их участникам. Кроме того, оператору доступен раздел «Удостоверяющие центры», содержащий перечень авторизованных удостоверяющих центров и их корневых сертификатов.

На рисунке 2 представлена схема взаимодействия программных средств по каждой из ролей на площадке.

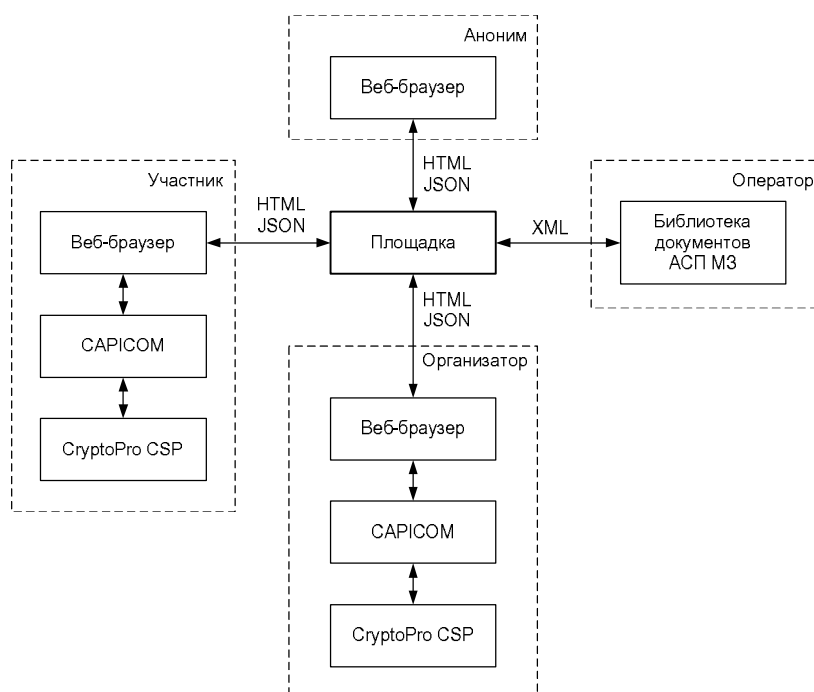


Рис. 2. Схема взаимодействия программных средств

Анонимный пользователь не выполняет активных действий и имеет доступ только к открытой части площадки, получая данные в форматах HTML и JSON с помощью веб-браузера.

Участник аукциона использует криптографические средства для заверения своих действий на площадке, в том числе для регистрации на участие в аукционе и подачи ценовых предложений. Для работы криптографических функций веб-браузер взаимодействует с библиотекой CAPICOM, которая обменивается данными с криптопровайдером алгоритмов шифрования ГОСТ СcryptoPro CSP. Обмен данными между браузером и площадкой осуществляется с использованием форматов HTML и JSON.

Организатор аукциона взаимодействует с площадкой аналогично участнику аукциона. Оператор площадки осуществляет взаимодействие с площадкой через веб-браузер по аналогии с участником аукционов, а также с помощью системы «Библиотека документов АСП МЗ», которая используется для публикации аукционной документации в открытой части площадки. Обмен данными осуществляется с использованием формата XML.

Структура программных средств и их функции

Комплекс программных средств электронной торговой площадки включает следующие компоненты:

- ядро системы – отвечает за взаимодействие между компонентами и модулями площадки;
- модуль обмена данными с системой «Библиотека документов АСП МЗ» – предназначен для публикации на площадке аукционной документации;
- модуль проведения электронных аукционов – обеспечивает функции проведения торгов в соответствии с регламентом площадки;
- блок отображения информации – осуществляет визуализацию и вывод информации для пользователей площадки;
- подсистема безопасности – осуществляет аутентификацию и авторизацию на основе заданной модели безопасности.

Программное обеспечение создавалось на модульной основе с использованием объектно-ориентированного подхода, позволяющего добавлять и изменять функции подсистем. Программное обеспечение сервера площадки работает под управлением операционной системы Microsoft Windows Server. Схема программно-технических средств площадки представлена на рисунке 3.

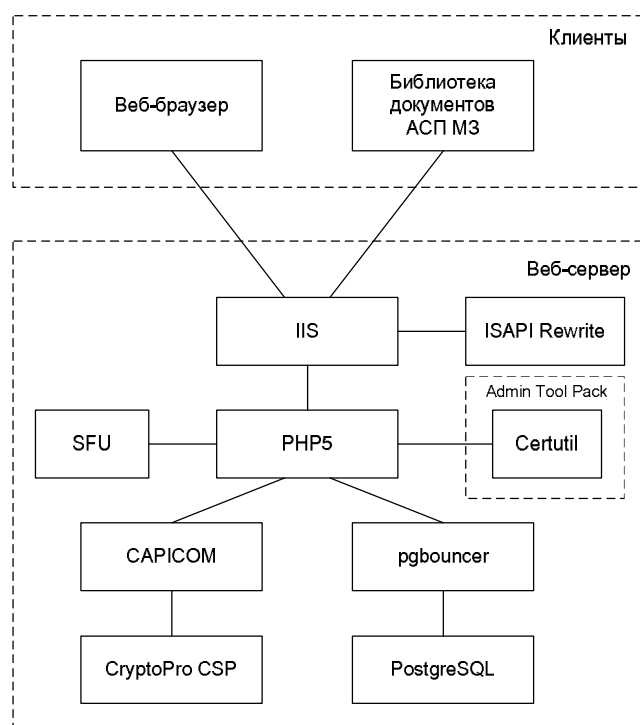


Рис. 3. Схема программно-технических средств

Средствами, расширяющими возможности операционной системы, являются:

- Windows Services for Unix (SFU) – включает средства запуска задач по расписанию (cron);
- ISAPI Rewrite – модуль для IIS, обеспечивающий обработку адресов URL (аналог Apache mod_rewrite);
- Admin Tool Pack – набор инструментов для администрирования операционной системы Windows Server; в частности, включает утилиту для управления сертификатами Certutil;
- СКЗИ CryptoPro CSP – обеспечивает авторизацию и юридическую значимость электронных документов посредством использования процедур формирования и проверки электронной подписи в соответствии с отечественными стандартами ГОСТ Р 34.11-94 и ГОСТ Р 34.10-2001, а также обеспечивает конфиденциальность и контроль целостности информации посредством ее шифрования в соответствии с ГОСТ 28147-89;
- CAPICOM – ActiveX-компонент для взаимодействия программной части системы с криптопровайдерами.

Серверная программная часть площадки включает:

- PHP5 – серверный язык программирования;
- PostgreSQL – реляционная система управления базами данных;

- Pgbouncer – балансировщик запросов для PostgreSQL, используется как промежуточный слой для доступа к данным, создавая пул соединений.

В качестве внешнего источника данных используется автоматизированная система «Библиотека документов». В комплекс хранилища данных электронной площадки входят следующие составляющие: база электронных аукционов с полным набором документации по каждому аукциону, база участников электронных аукционов, информация о заявках с документами, поданными участниками, информация о результатах проведения электронных аукционов, служебные данные, доступные для оператора площадки (журналы, уведомления), данные реестров и справочников, расписание рабочих дней в соответствии с текущим законодательством, нормативно-правовая информация.

Подсистема защиты информации

На площадке осуществляется контроль работы авторизованных пользователей, который обеспечивается подбором необходимых программных решений и методов защиты информации. В программной части площадки используются следующие методы защиты информации:

- аутентификация и авторизация зарегистрированных пользователей;
- разграничение прав доступа на основе модифицированной ролевой модели RBAC;
- ограничения на пароли пользователей;
- использование электронной подписи для заверения юридически значимых действий пользователей;
- использование средств фильтрации данных, вводимых пользователями;
- шифрование трафика при взаимодействии с пользователями по протоколу HTTPS;
- разграничение доступа к средствам администрирования на основе IP-адресов;
- разграничение доступа к площадке на основе геотаргетинга (страны пользователя);
- разграничение доступа для внутренних сервисов;
- журналирование всех значимых операций для обнаружения нестандартных ситуаций;
- блокирование подозрительных запросов, не предусмотренных штатной работой площадки.

Заключение

Разработанное специалистами Института вычислительного моделирования СО РАН программное обеспечение электронной торговой площадки прошло апробацию и успешно решает поставленные задачи в рамках муниципальной электронной торговой площадки города Красноярска,

находящейся в ведении департамента муниципального заказа администрации города Красноярск. В настоящее время площадка находится в режиме промышленной эксплуатации и доступна по адресу <http://torgi.admkrsk.ru>.

За первый год работы площадки проведено 340 электронных аукционов, в результате которых бюджет города Красноярск получил дополнительное финансирование в размере более 380 миллионов рублей. Внедренная система способствует повышению качества и эффективности муниципального управления за счет использования органами муниципального управления современных информационных и коммуникационных технологий.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 11 ноября 2002 г. №808 // Российская газета. – 2002. – №221. – 21 нояб.
2. Федеральный закон Российской Федерации от 13 марта 2006 г. №38-ФЗ // Российская газета. – 2006. – №51. – 15 марта.
3. Комплексная автоматизированная поддержка подготовки, размещения и контроля муниципальных заказов / В.Ф. Щербенин, Н.Ф. Лузан, Л.Ф. Ноженкова, О.С. Исаева, Д.В. Жучков // Проблемы информатизации региона: материалы 10-й Всероссийской научно-практической конференции в 2 т. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т; Политехн. ин-т, 2007. – Т. 1. – С. 3-11.
4. Кононов Д. Д., Исаев С. В., Исаева О. С. Средства интернет-поддержки муниципального заказа // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – № 10. – С. 42-50.
5. Кононов Д. Д., Исаев С. В. Модель безопасности кросс-платформенных веб-сервисов поддержки муниципальных закупок // Прикладная дискретная математика. Приложение. – 2011. – № 4. – С. 48-50.

Кононов Дмитрий Дмитриевич, научный сотрудник Института вычислительного моделирования СО РАН, 660036, Россия, г. Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 44, тел. (391) 2494767, ddk@icm.krasn.ru

Жучков Дмитрий Викторович, кандидат технических наук, научный сотрудник Института вычислительного моделирования СО РАН, 660036, Россия, г. Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 44, тел. (391) 2494834, dimkas@icm.krasn.ru

Kononov Dmitry Dmitrievich, researcher, Institute of Computational Modeling SB RAS. 66036, Russia, Krasnoyarsk, Akadewmgorodok, 50, bld. 44, phone (391) 2494767, ddk@icm.krasn.ru

Zhuchkov Dmitry Viktorovich, candidate of technical sciences, researcher, Institute of Computational Modeling SB RAS. 66036, Russia, Krasnoyarsk, Akadewmgorodok, 50, bld. 44, phone (391) 2494834, dimkas@icm.krasn.ru

УДК 004.27

© С.И. Олзоева

ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Рассматриваются состав и функциональное назначение программного инструментария для организации распределенного имитационного моделирования систем. Разработанный программный инструментарий решает проблемы автоматизации распараллеливания имитационной модели, а также эффективной организации вычислительного процесса. Предлагается структура системы распределенного моделирования, реализуемая на неоднородных параллельных вычислительных системах – локальных сетях и кластерах.

Ключевые слова: распределенное имитационное моделирование, вычислительная система, распределенные вычисления, параллельные вычисления, программное обеспечение.

© S.I. Olzoeva

SOFTWARE TOOLS FOR ORGANIZATION OF DISTRIBUTED SIMULATION MODELING SYSTEMS

The composition and functional purpose of software tools for organization of distributed simulation modeling systems are considered. The developed software tools solve the problems of automation of parallelization of simulation model and the efficient organization of computing process. A proposed framework for a system of distributed simulation modeling is implemented on a heterogeneous parallel computing systems - local networks and clusters.

Keywords: distributed simulation modeling, computer system, distributed computing, parallel computing, software.

Введение

Существующие методы организации вычислительного процесса на многопроцессорных системах как в теории параллельных вычислений, так и в теории распределенных вычислений невозможно применить к имитационному моделированию систем без соответствующей модификации, учитывающей специфику построения моделирующих алгоритмов сложных систем. Организация распределенного имитационного моделирования систем должна быть поддержана специальными инструментами, автоматизирующими распараллеливание существующих имитационных программ. Разработанный программный инструментарий решает пробле-

му автоматизации задачи распараллеливания имитационной модели и эффективной организации вычислительного процесса.

1. Основные этапы организации распределенного моделирования

В результате исследования методов теории распределенных вычислений и теории параллельных вычислений применительно к имитационному моделированию систем выделены основные этапы организации вычислительного процесса распределенного имитационного моделирования (РИМ) и задачи, стоящие на этих этапах. Эти задачи определяют функциональное содержание автоматизированного средства организации распределенного имитационного моделирования (АСОРИМ). Основное назначение этого программного инструментария состоит в отделении аспектов, связанных с разработкой программного обеспечения (ПО) имитационной модели (ИМ) конкретной сложной системы, от вопросов организации распределенных (параллельных) вычислений. АСОРИМ предназначено для автоматизации работ по распараллеливанию имитационных программ, выдачи оценок качества получаемых вариантов параллельной ИМ, прогнозируемого ускорения вычислительного процесса.

Технологическими этапами функционирования АСОРИМ являются:

1. Декомпозиция ПО ИМ.
2. Оценка качества вариантов проектов декомпозиции. Расчет прогнозируемого ускорения вычислений для вариантов распределенной имитационной модели.
3. Выбор алгоритма синхронизации распределенных процессов.
4. Формирование децентрализованной управляющей программы РИМ и распределенной базы данных моделирования.
5. Оптимальное распределение программных блоков ИМ по процессорам вычислительной системы.

Алгоритмическим наполнением технологических этапов являются:

- Метод декомпозиции имитационной модели РИСУ, основанный на алгоритме автоматической классификации. Декомпозиция осуществляется по критерию минимизации связей между классами виртуальных действий имитационной модели. Иерархический агломеративный алгоритм позволяет решить задачу декомпозиции с учетом не только структурной связности, но и с учетом характеристик динамической связности объектов моделируемой системы. По результатам декомпозиции формируется состав блоков РИМ и распределенная база данных модели.

- Метод оценки возможных временных факторов РИМ, по результатам которой производится выбор окончательного проекта РИМ.

- Метод анализа и выбора алгоритма синхронизации (АС) распределенных процессов, который применяется к сформированному составу РИМ, позволяет сравнить эффективность различных АС для конкретного РИМ с заданными параметрами. Выбор наиболее подходящего алгоритма синхронизации для формируемой распределенной имитационной модели

позволяет сформировать окончательную структуру децентрализованной управляющей программы.

- Метод оптимального распределения программных блоков РИМ по процессорам вычислительной системы. Здесь решается задача планирования распределенного вычислительного процесса.

Выходные результаты АСОРИМ используются для организации вычислительного процесса РИМ на неоднородных параллельных вычислительных системах – локальных сетях и кластерных системах. Предлагается следующая структура построения системы распределенного моделирования.

2. Структура системы распределенного моделирования

Система распределенного моделирования систем включает в себя три подсистемы: подсистему подготовки вычислительного процесса РИМ, подсистему распределенного моделирования и подсистему анализа результатов моделирования (рис. 1).



Рис. 1

Подсистема подготовки РИМ выполняет преобразование программы последовательной имитационной модели в параллельную конструкцию в соответствии с алгоритмами технологических этапов АСОРИМ.

Подсистема распределенного моделирования выполняет программные модули (ПМ) блоков имитационной модели, размещенных на разных процессорах, в едином модельном времени в соответствии с выбранным алгоритмом синхронизации (консервативным или оптимистическим). Программный модуль (ПМ) блока ИМ представляет собой последовательную ИМ. Взаимодействие процессов ПМ реализуется с помощью механизма межпроцессорных коммуникаций: TCP-сокетов, стандартной библиотеки Winsock 2.0, специализированных библиотек межпроцессных взаимодействий.

Подсистема анализа результатов моделирования представляет собой стандартные алгоритмы методов статистической обработки и интерпретации результатов моделирования.

В соответствии со структурой системы распределенного моделирования РИСУ программное обеспечение делится на слои:

- ПО организации вычислительного процесса РИМ, включающее программы алгоритмов технологических этапов АСОРИМ;

- ПО межпроцессорных взаимодействий, включающее стандартную библиотеку Winsock 2.0, библиотеки функций обмена сообщениями протоколов IPX или TCP/IP, специализированная библиотека MPI. Использование того или иного вида программных средств обмена сообщениями зависит от того, какие транспортные протоколы использует вычислительная система, на которой реализуется моделирование.

- ПО распределенной имитационной модели включает в качестве ядра программное обеспечение последовательной ИМ, дополненное внесенными конструкциями алгоритмов синхронизации взаимодействий и обмена сообщениями между блоками ИМ;

- ПО последовательной имитационной модели, представляющей собой проблемно-ориентированную дискретно-событийную имитационную модель.

Заключение

Такая структура программного обеспечения системы распределенного моделирования обеспечивает эффективность, переносимость и расширяемость распределенной имитационной модели. Эффективность достигается использованием нескольких компьютеров сети, работающих параллельно, что позволяет ускорить процесс имитационного моделирования сложной системы.

Переносимость РИМ обеспечивается использованием механизма сокетов - унифицированного интерфейса взаимодействия с телекоммуникационными протоколами, реализованными в современных вычислительных сетях. Интерфейс сокетов не зависит от вычислительной платформы.

Расширяемость РИМ обеспечивается структуризацией программ, об-

обрабатывающих особые состояния, стандартизацией базы данных моделирования, модульным принципом построения модели. Это позволяет вводить новые обрабатывающие модули, что может быть связано с изменением целей имитационного моделирования, а также вводить в обрабатывающие модули более подробные алгоритмы имитации в соответствии с требуемым уровнем детализации.

Автономность функционирования АСОРИМ вкупе с пользовательским интерфейсом делают его удобным средством для решения задачи распараллеливания ИМ исследуемой системы и перенесения имитационной программы на имеющийся в распоряжении пользователя парк компьютеров: локальную или кластерную сеть.

Олзоева Сэсэг Ивановна, доктор технических наук, профессор Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В, тел. 89246505805.

Olzoeva Seseg Ivanovna, doctor of technical sciences, professor, East Siberian State University of Technology and Management. 670013, Ulan-Ude, Kluchevskaya St., 40V, phone. 89246505805.

УДК 681.51

© Л.Н. Федорченко

МИНИМИЗАЦИЯ ТРАНСЛЯЦИОННОЙ КСР-ГРАММАТИКИ И СОСТОЯНИЙ СИНТАКСИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА КСР-ЯЗЫКА

В статье представлены алгоритмы, выполняющие минимизацию регулярных выражений в правилах трансляционной грамматики и состояний таблиц анализатора языка как заключительный этап метода регуляризации КСР-грамматик, который реализован в инструментальной системе SynGT (Syntax Graph Transformation).

Ключевые слова: эквивалентные преобразования грамматик, КСР-грамматика.

© L.N. Fedorchenko

MINIMIZATION OF TRANSLATIONAL CFR-GRAMMAR AND CONDITIONS OF GENERATED PARSER CFR-LANGUAGE

The paper presents algorithms that perform minimization of regular expressions within the rules of translational grammar and conditions of parser language tables as a final stage of regulation method of CFR-grammar, which is implemented in the special tool system SynGT (Syntax Graph Transformations).

Keywords: equivalent transformation of grammar, CFR-grammar.

Введение

Практически во всех существующих системах построения трансляторов применяется коррекция грамматики реализуемого языка с целью приведения ее к более простому для обработки классу грамматик, позволяющему автоматический грамматический разбор. В этом случае удается перевести реализуемый язык из одного класса языков в другой, более простой для обработки класс, для которого существуют отработанные алгоритмы разбора и изученные свойства, например, из класса контекстно-свободных языков в класс регулярных языков.

Однако грамматику, преобразованную к регулярной форме (регуляризованную), можно получить из исходной автоматически. Для этой цели существует программное решение – инструментальная система SynGT (Syntax Graph Transformations), которая с помощью встроенной схемы эквивалентных преобразований правил грамматики позволяет трансформировать произвольную КС-грамматику, представляемую в форме BNF (Backus-Naur Form) или EBNF (Extended Backus-Naur Form) [1], превратив ее в *трансляционную КС-грамматику в регулярной*

форме (КСР-грамматику), по которой синтезируется анализатор языка с линейной временной сложностью и улучшенными, по сравнению с известными системами из семейства компиляторов GNU, характеристиками по эффективности и объему памяти.

В статье представлены алгоритмы, выполняющие минимизацию состояний таблиц анализатора языка как заключительный этап метода регуляризации КСР-грамматик. Реализованные в *SupGT* эквивалентные преобразования и метод регуляризации на их основе являются единственным способом расширить область применимости выбранного алгоритма синтаксического разбора.

1. Регуляризация КС-грамматики

Известно [1–2], что под регуляризацией контекстно-свободной грамматики (КС-грамматики) понимается процесс ее последовательного эквивалентного преобразования таким образом, что в результате получают трансляционную КСР-грамматику (КС-грамматику в регулярной форме), правила которой (КСР-правила) представляют собой обобщенные регулярные выражения относительно символов всех алфавитов исходной грамматики [2–4]. В этом случае соответствующий языковой процессор работает как семейство конечных автоматов (связанных друг с другом), каждый из которых распознает свой фрагмент входной цепочки языка, порождаемый полученной (после преобразования) грамматикой.

В процессе преобразований количество правил грамматики уменьшается, а их правые части представляют собой сложные регулярные выражения над объединенным алфавитом всех символов грамматики. В результате на базе исходной грамматики строится приведенная грамматика [1], в которой отсутствуют непродуктивные и цепные нетерминалы, а также пустые порождения.

Завершающей фазой процесса регуляризации является минимизация записи регулярных выражений КСР-правил и последующая минимизация состояний синтезированного распознавателя.

Минимизация записи грамматики позволяет добиться представления правил с помощью наименьшего количества вхождений символов в правило. Использование бинарной операции обобщенной итерации (#) (вместо обычной итерации Клини (*)) уже на начальных этапах преобразований частично минимизирует запись правил.

В соответствии с данными в [2–4] определениями множество в конечном алфавите V регулярно тогда и только тогда, когда оно либо \emptyset , либо $\{\varepsilon\}$ (ε – пустая цепочка символов), либо $\{\alpha\}$ для некоторого символа $\alpha \in V$, либо его можно получить из этих множеств, применяя конечное число раз операции объединения, конкатенации, унарной и бинарной обобщенной итерации (#). Операция обобщенной итерации не расширяет множество регулярных слов, определяемых обобщенным регулярным выражением. Она может быть определена через традиционную операцию Клини (*) как $P\#Q = P, (Q, P)^*$. Такое применение обобщенной итерации в записи

регулярных выражений частично решает задачу минимизации регулярно выражения по числу вхождений символов из объединенного алфавита терминалов, нетерминалов, семантик (в формуле: слева – два вхождения символа, справа – три вхождения), таким образом, уменьшая вероятность появления конфликта Shift/Reduce при построении анализатора языка.

2. Схема минимизации регулярных выражений

Минимизированная грамматика строится с помощью преобразования исходного множества правил к регулярному виду посредством применения эквивалентных преобразований, затем – минимизации таблиц синтезированного автомата и, наконец, выполнения обратного преобразования для получения окончательного эквивалентного регулярного выражения. $R_A \implies \Gamma_A \implies DKA_{\Gamma_A} \implies \min R_A$, где

R_A – регулярное выражение КСР-правила для нетерминала A в объединенном алфавите терминалов, нетерминалов и семантик;

Γ_A – граф-схема регулярного выражения R_A , минимизированная по вхождениям символов из объединенного алфавита;

DKA_{Γ_A} – детерминированный конечный автомат, построенный из Γ_A и минимизированный по числу состояний;

$\min R_A$ – регулярное выражение, полученное обратным преобразованием из конечного автомата DKA_{Γ_A} .

Для получения минимальной КСР-грамматики необходимо получить минимальные регулярные выражения для всех КСР-правил. Таким образом, на вход программной системы подается КСР-грамматика G , на выходе – получаем минимизированный детерминированный конечный автомат DKA_G , по которому обратным преобразованием строятся регулярные выражения для КСР-правил.

На рисунке 1 в качестве примера рассмотрим КСР-грамматику G .

G : A : 'a' #'b' ; (A, 'c' #'d') #B. B : 'c' #'d' .

Рис. 1. Пример КСР-грамматики для синтеза конечного автомата

Построим синтаксическую граф-схему (СГС) $\Gamma_G = \{\Gamma_A, \Gamma_B\}$ для грамматики G и состояния автомата в соответствии с определением состояния в СГС (регулярный случай).

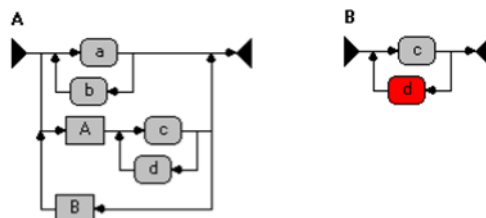


Рис. 2. СГС для КСР-грамматики G

3. Построение конечного автомата по регулярному выражению

В данном случае для конечного автомата все вершины имеют одинаковый статус (не различаем терминальные и нетерминальные вершины). Семантики отсутствуют.

Состояние автомата хранит определенное количество информации о распознаваемом языке. В данном случае под состоянием автомата понимаем множество помеченных вершин граф-схемы. Переход от одного состояния к другому, которое также является множеством (возможно пустым) вершин из граф-схемы, управляется текущим символом, поступающим из входного текста, подвергаемого разбору. Переходное состояние содержит информацию о том, какие символы допустимы для следующего перехода.

Переход от одной компоненты СГС к другой управляется магазином, содержащим нетерминалы грамматики. Напомним определение состояния из [2], которым воспользуемся для примера.

Определение 1. Состоянием в Γ_A называется:

- 1) либо выходная вершина в Γ_A . Обозначим ее через F_A ;
- 2) либо терминальная (нетерминальная) вершина Γ_A ;
- 3) либо объединение состояний в Γ_A .

Для произвольной вершины β , где β – не выходная вершина Γ_A , ($\beta \neq F_A$), определим состояние вершины β в Γ_A как множество вершин, смежных с вершиной β . $S_\beta = \{\alpha \mid \alpha - \text{вершина в граф-схеме } \Gamma_A \text{ и } \alpha \in \text{succ}(\beta)\}$.

Если β – входная вершина (обозначение E_A), то S_β – начальное состояние графа Γ_A , которое является начальным состоянием конечного автомата DKA_{Γ_A} . Из определения 1 следует, что начальным состоянием является множество вершин, которые достижимы из входной вершины E_A .

Достижимость из начальной вершины E_A означает то, что символы, помечающие вершины в начальном состоянии, соответствуют начальной букве слов, порождаемых графом Γ_A и управляющими символами при построении переходного состояния конечного автомата.

Определенное выше состояние в графе Γ_A по содержанию тождественно понятию состояния конечного автомата из [1].

Переход из одного состояния в другое осуществляется с помощью символа, поступающего на вход автомата. По определению любое состояние является множеством вершин в Γ_A , то есть содержит множество альтернатив о том, как поступившее подслово может быть продолжено.

Пусть S – состояние в Γ_A и ξ – символ (текущая буква входного слова) из алфавита терминалов и нетерминалов.

Определение 2. Для состояния S «переходом по символу» ξ будем называть состояние S / ξ в Γ_A , в котором:

- 1) если $S = \{F_A\}$ или $S = \emptyset$, то $S / \xi = \emptyset$;
- 2) если $S = \{\alpha\}$, α – вершина в Γ_A , то $S / \xi = \begin{cases} \emptyset & \text{при } m(\alpha) \neq \xi, \\ S_\alpha & \text{при } m(\alpha) = \xi, \end{cases}$

где $m(\alpha)$ – метка вершины α ;

- 3) если $S = \bigcup_{i=1}^n S_i$, то $S / \xi = \bigcup_{i=1}^n S_i / \xi$.

Таким образом, в результате применения операции «перехода по символу» получаем переходное состояние как объединение состояний тех вершин, которые помечены этим символом в рассматриваемом состоянии. Если состояние пусто или отсутствуют помеченные вершины, то переходное состояние также пусто. Когда переходное состояние пусто, это означает, что данный символ (в качестве следующей буквы анализируемого слова) недопустим.

Для грамматики G (рис. 1) построенные состояния вершин следующие:

$$S_{E_A} = \{a, A\}; S_a = \{b, F_A\}; S_A = \{c\}; S_b = \{a\}; S_c = \{d, B, F_A\}; S_B = \{A\}; S_d = \{c\}.$$

4. Модуль минимизации состояний

Рассмотрим классы модуля минимизации состояний распознавателя, построенного по граф-схеме для отдельных КСР-правил и реализованных в SynGT.

TStatesSet – класс для представления множества состояний – ячейка в таблице переходов. Реализован при помощи стандартного типа Delphi set (множество), отсюда максимальное количество состояний автомата не должно превышать 256. Этого достаточно для грамматик с не более 265 символами для каждого правила. Для увеличения количества вершин в СГС возможно коррекция класса на основе собственного типа (не встроенного в Borland Delphi), не меняя при этом интерфейса класса **TStatesSet**. Описание класса приводится на рисунке 3.

TMinimizationTable – класс-представление детерминированного автомата в виде таблицы переходов. Класс позволяет динамически наполнять таблицу состояний-переходов с помощью вызовов методов создания состояний (**createState**) и их связывания (**linkStates**).

Кроме того, в системе реализованы вспомогательные методы для обхода таблицы состояний и для записи ее в файл в читаемом виде (такое представление очень удобно в режиме отладки).

Наиболее важной функцией в интерфейсе класса **TMinimizationTable** является собственно минимизация таблицы состояний (функция **minimize**). При ее вызове для построенного автомата происходит преобразование таблицы по числу переходов к минимальному виду, изоморфному исходной таблице.

Собственно минимизация происходит следующим образом:

1. Организуется цикл по списку строк таблицы.
2. В цикле делается попытка объединить любые 2 строки таблицы состояний.
3. Если ни одного объединения сделать невозможно, минимизация завершена, происходит выход из внешнего цикла.

Функции **CanJoin2Rows** и **Join2Rows** возвращают логическое значение, определяющее возможность объединения двух строк таблицы. Затем выполняется или не выполняется объединение состояний соответственно этому значению.

Функция **CanJoin2Rows** работает по следующему алгоритму:

1. Если множество удаленных состояний содержит одно из объединяемых состояний, то объединение невозможно.
2. Если любая из строк соответствует конечному состоянию, то объединение невозможно.
3. Производится обход обеих строк по всем символам, входящим в состояние, и сравниваются множества состояний в каждой ячейке таблицы. Если эти множества совпадают за исключением тех состояний, для которых производится сравнение, то объединение возможно.
4. Если же множества доступных из данных состояний в чем-то не совпадают (например, по семантике), то на этом шаге объединять строки таблицы нельзя.

```

TStatesSet = class
  public
    constructor Create(MaxStatesCount: integer);
  \\
    function findState(stateIndex: integer): boolean;
    procedure addState(stateIndex: integer);
  \\
    function Count: integer;
    function getDataSet: ByteSet;
    procedure setDataSet(adata: ByteSet);
  private
    data: ByteSet;
  end;
    
```

Рис. 3. Описание класса TStatesSet

Функция **Join2Rows** вызывается для пары состояний, для которых **CanJoin2Rows** вернула значение true. Она работает по следующему алгоритму:

1. В цикле объединяемые строки таблицы состояний сливаются в первой строке (состоянии) с вычетом номера состояния, соответствующего второй строке.
2. Номер второго состояния добавляется в список `deletedStatesSet` – удаленных состояний.
3. Производится замена номера второго состояния на номер первого по всей таблице (`replaceAllState`).
4. После вызова функции `minimize` объект типа `TMinimizationTable` содержит минимизированную таблицу состояний.

На рисунках 4–9 даны описания класса минимизации состояний таблицы конечного автомата, реализованного в SynGT.

```

TMinimizationTable = class
public
    constructor Create(MaxStatesCount, MaxSymbolsCount:
integer);
    destructor Dispose;
    function createState(): TState;
    procedure linkStates(a, b: TState; s: TSymbol);
    procedure minimize;
    {Методы доступа к таблице}
    function isEmptyState(stateIndex: integer): boolean;
    function getStatesCount: integer;
    function getSymbolsCount: integer;
    function getStateName(index: integer): string;
    function getSymbol(index: integer): string;
    function getTableElement(stateIndex, symbolIndex:
integer): TStatesSet;
    procedure WriteToFile(filename: string);
protected
    procedure addState(startStateIndex, symbolIndex:
integer; endStateIndex: integer);
    function findState(state: TState): integer;
    function findSymbol(symbol: TSymbol): integer;
    function AddNewSymbol(s: TSymbol): integer;
    function AddNewState(s: TState): integer;
    function CanJoin2Rows(row1, row2: integer): boolean;
    procedure Join2Rows(row1, row2: integer);
    procedure replaceState(oldState: integer; newState:
integer);
private
    data: array of array of TStatesSet;
    states: array of TState;
    symbols: array of TSymbol;
    nextState: TState;
    emptyStatesSet: TStatesSet;
    statesCount, symbolsCount: integer;
end;

```

Рис.4. Пример класса минимизации состояний таблицы анализатора

5. Служебные модули минимизации в SynGT

1. **TChildForm.Minimize**: формирование правил в строковом представлении, вызов **TransTransformation** со строкой-грамматикой.
2. **TransTransformation.Minimize**: загрузка грамматики из строки, вызов **TGrammar.Minimize**.
3. **TGrammar.Minimize**: цикл по всем правилам; рекурсивное построение таблицы минимизации для нетерминала **TRE_Tree.buildMinimizationTable(minTable, minRec)**, здесь **minTable** – это таблица минимизации типа **TMinimizationTable** (см. выше), **minRec** – структура минимизации типа **TMinRecord**; вызов **minTable.minimize**; построение нового правила на основе минимизированной таблицы:

4. **TRE_Tree.buildMinimizationTable** (а также во всех потомках: **TRE_And**, **TRE_Or**, **TRE_Iteration**, **TRE_Nonterminal**, **TRE_Leaf** и др.).

Таблица минимизации строится рекурсивным обходом дерева для правила грамматики с базовым классом **TRE_Tree**:

```
TRE_Tree = class(TComponent)
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
  function equals(aTree :TRE_Tree):boolean;virtual;
  function isEmpty():boolean;virtual;
// ...
  procedure buildMinimizationTable(var table:
TMinimizationTable; minRec:TMinRecord);virtual;abstract;
end;
```

Рис. 5. Пример служебного модуля

Для построения таблицы переходов автомата используется структура **TMinRecord** на рис. 6.

```
TMinRecord = record
  start, finish: TState;
end;
```

Рис. 6. Структура для построения таблицы переходов состояний

Эта структура содержит номера стартового и конечного состояний для данного поддерева.

Структура передается как параметр в функцию **buildMinimizationTable** узла дерева с уже заданными значениями для начального и конечного состояния. Внутри функции для узла вычисляются промежуточные состояния, необходимые для представления дерева выражений в виде таблицы переходов автомата. Например, при построении таблицы для **TRE_Or** (операции «или») процедура минимизации вызывается для левого и правого операндов с одними и теми же номерами стартового и конечного состояния (на рис. 7).

```
procedure TRE_Or.buildMinimizationTable(var
table:TMinimizationTable; minRec:TMinRecord);
begin
  m_LeftOperand.buildMinimizationTable(table, minRec);
  m_RightOperand.buildMinimizationTable(table, minRec);
end;
```

Рис. 7. Пример вызова процедуры минимизации для операции «или»

Для операции **TRE_And** (операция «и») сначала строится таблица состояний для левого поддерева, а затем конечное состояние для левого поддерева используется как стартовое для правого поддерева:

```

procedure TRE_And.buildMinimizationTable (var
table:TMinimizationTable; minRec:TMinRecord);
var
  finish: TState;
begin
  finish := minRec.finish;
  minRec.finish := table.createState();
  m_LeftOperand.buildMinimizationTable(table, minRec);
  minRec.start := minRec.finish;
  minRec.finish := finish;
  m_RightOperand.buildMinimizationTable(table, minRec);
end;

```

Рис. 8. Пример вызова процедуры минимизации для операции «и»

Реализация функции для операции построения таблицы минимизации для **TRE_Iteration** (обобщенная бинарная итерация) приведена на рисунке 9. Здесь происходит последовательная связь состояний в соответствии с работой бинарной итерации в граф-схеме:

```

procedure TRE_Iteration.buildMinimizationTable (var
table:TMinimizationTable; minRec:TMinRecord);
var
  finish: TState;
begin
  finish := minRec.finish;
  minRec.finish := table.createState();
  table.linkStates(minRec.finish, finish,
Minimization.EmptySymbol);
  m_LeftOperand.buildMinimizationTable(table, minRec);
  //
  finish := minRec.finish;
  minRec.finish := minRec.start;
  minRec.start := finish;
  m_RightOperand.buildMinimizationTable(table, minRec);
end;

```

Рис. 9. Пример вызова процедуры минимизации для операции итерации (#)

Реализация **buildMinimizationTable** для **TRE_Leaf** (терминального символа). Здесь стартовое и конечное состояния связываются направленной дугой с пометкой символом нетерминала (пример на рисунке 10).

```

procedure TRE_Leaf.buildMinimizationTable
(var table:TMinimizationTable; minRec:TMinRecord);
var
  a: string;
begin
  a := getString;
  table.linkStates(minRec.start, minRec.finish, a);
end;

```

Рис. 10. Пример процедуры минимизации для терминальной вершины

Заключение

В статье приведена схема и кратко описаны алгоритмы минимизации правил КСР-грамматики, которые сводятся к получению минимальных выражений для всех правил грамматики.

Алгоритм минимизации регулярных выражений КСР-грамматики, реализованный в системе SynGT следующий:

- для каждого регулярного выражения в правых частях правил грамматики строится его граф-схема;
- по построенной граф-схеме строится детерминированный конечный автомат, где состояние автомата – это некоторое количество информации о распознаваемом языке. В данном случае под состоянием автомата понимается множество вершин граф-схемы. Переход от одного состояния к другому, которое также является множеством (возможно, пустым) вершин граф-схемы, управляется текущим символом, поступающим из входного анализируемого текста;
- детерминированный конечный автомат, полученный на предыдущем шаге, минимизируется по известному алгоритму [1];
- на основе полученной таблицы переходных состояний детерминированного конечного автомата с помощью обратного преобразования получаем минимизированное регулярное выражение для КСР-правила;
- эту процедуру повторяем для всех правил грамматики.

Алгоритмы построения минимизированных по числу вхождений символов и числу состояний детерминированного конечного автомата для произвольной контекстно-свободной грамматики в регулярной форме реализованы в системе эквивалентных преобразований SynGT [2, 3].

Литература

1. Ахо А. В., Сети Р., Ульман Д. Д. Компиляторы: принципы, технологии и инструменты. – М.: Вильямс, 2001.
2. Федорченко Л.Н. Регуляризация контекстно-свободных грамматик на основе эквивалентных преобразований синтаксических граф-схем. // Труды СПИИРАН. – 2010. – Вып.4(15). – С. 213–230.
3. Федорченко Л.Н. Регуляризация контекстно-свободных грамматик. / LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Dudweiler Landstr. 99, 66123 Saarbrücken, Germany. – 2011. – С 180.
4. Федорченко Л.Н. Синтаксически управляемая обработка данных для практических задач // Вестник БГУ. – 2013. – № 9. – С. 87–99.

Федорченко Людмила Николаевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории прикладной информатики Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИ-РАН). Тел. +7 (812) 328-1919, e-mail: LNF@iiias.spb.su

Fedorchenko Lyudmila Nikolaevna, candidate of technical sciences, senior researcher, St.Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS).

3. Математическое моделирование

УДК 531, 519.6

© *М.А. Бубенчиков, А.М. Бубенчиков, Тумэрпурэвийн Намнан,
В.Б. Цыренова, Р. Энхбат*

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ УПРУГОГО ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕДА

Выделена потенциальная часть решения, для которой касательные напряжения на свободной поверхности и внутри области всегда равны нулю. При отсутствии ненулевых значений напряжений сдвига в граничных условиях и в силу единственности решения эта часть и является решением полной задачи теории упругости. Кроме этого описана схема решения соленоидальной (вихревой) части задачи. Особое место уделено описанию эффективной итерационно-разностной технологии расчета потенциала перемещений в упругой несжимаемой среде.

Ключевые слова: разностная схема, аппроксимация, граничные условия.

© *M.A. Bubenchikov, A.M. Bubenchikov, Tumerpurevin Namnan,
V.B. Tsyrenova, R. Enkhbat*

THE POTENTIAL DEFORMATION OF ELASTIC PARALLELEPIPED

The potential part of the solution, for which shear stresses on the free surface and within the field are always zero, has been highlighted. In the absence of non-zero values of the shear stresses in the boundary conditions and because of the uniqueness of solution, this part is a complete solution of the problem of the theory of elasticity. In addition, a scheme for solution a solenoidal (vortex) part of the problem has been described. Particular attention is paid to the description of an efficient iteration-difference technology of potential calculation of displacement in the elastic incompressible medium.

Keywords: finite-difference scheme, approximation, boundary conditions.

Математическая модель деформаций

Будем рассматривать несжимаемую среду:

$$\operatorname{div}(\vec{v}) = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (1)$$

Здесь $\vec{v} \equiv (u, v, w)$ – вектор перемещений точек среды.

Введем в рассмотрение потенциал перемещений Φ :

$$\vec{v} = \operatorname{grad} \Phi. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), получим

$$\nabla^2 \Phi = 0, \quad (3)$$

где ∇^2 – оператор Лапласа.

По теореме разложения Геймгольца, всякую деформацию можно представить как сумму объемной деформации, определяемой потенциалом перемещений Φ , и деформации сдвига, определяемой вектором $\vec{\Omega} \equiv (\xi, \eta, \zeta)$:

$$\vec{\Omega} = \text{rot} \vec{v}. \quad (4)$$

Задачи на определение деформаций сдвига решаются с помощью нахождения компонент рассматриваемого вектора, каждая из которых удовлетворяет уравнению Лапласа. Кроме этого, по аналогии с задачами динамики жидкости, потребуется ввести в рассмотрение аналог функции тока или векторного потенциала, компоненты которого будут удовлетворять уравнениям Пуассона. После решения вопроса с граничными условиями для упомянутых функций можно найти сдвиговые деформации, например, в задачах кручения или комплексных задачах на сжатие и сдвиг, и далее, используя принцип суперпозиции решения (утверждение, обратное теореме Геймгольца), найти решение полной задачи.

В линейной теории упругости задача определения объемных деформаций может быть отделена от задачи расчета деформаций сдвига, что и сделано в настоящей работе. Поэтому ниже будет рассмотрена задача, связанная с нахождением потенциала перемещений Φ .

Обобщенный закон Гука

Предположим, что потенциал перемещений найден. Тогда, используя соотношение (2), можно найти вектор перемещений \vec{v} , то есть все его компоненты u, v, w .

В механике известны соотношения Коши [1, 3], которые определяют компоненты тензора деформаций через перемещения:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \varepsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z}, \quad (5)$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), \quad \varepsilon_{xz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right), \quad \varepsilon_{yz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right). \quad (6)$$

Теперь можно записать реологический закон, связывающий компоненты тензора напряжений с компонентами тензора деформаций. Простейшая линейная форма такой связи носит название обобщенного закона Гука [2]:

$$\sigma_{ij} = \lambda \delta_{ij} \varepsilon_{kk} + 2\mu \varepsilon_{ij}. \quad (7)$$

Здесь по повторяющемуся индексу проводится суммирование. При этом

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)} - \text{коэффициенты Ляме, } E - \text{модуль Юнга,}$$

ν – коэффициент Пуассона. Из последнего соотношения для компонент тензора напряжений получаем

$$\sigma_{xx} = (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{xx} + \lambda(\varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}), \quad (8)$$

$$\sigma_{yy} = (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{yy} + \lambda(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{zz}), \quad (9)$$

$$\sigma_{zz} = (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{zz} + \lambda(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}), \quad (10)$$

$$\sigma_{xy} = 2\mu\varepsilon_{xy}, \quad \sigma_{xz} = 2\mu\varepsilon_{xz}, \quad \sigma_{yz} = 2\mu\varepsilon_{yz}. \quad (11)$$

Граничные условия на свободной поверхности

Рассмотрим, например, грани параллелепипеда, перпендикулярные оси Ox . Здесь, если поверхность свободна, должно выполняться физическое условие равенства нулю нормальных напряжений:

$$\sigma_{xx} = 0. \quad (12)$$

С учетом связи закона Гука это соотношение можно переписать в виде

$$(\lambda + 2\mu) \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \left(\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (13)$$

или через потенциал перемещений

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \kappa \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right) = 0, \quad (14)$$

где $\kappa = \frac{\lambda}{(\lambda + 2\mu)} = \frac{\nu}{1 - \nu}$.

Аналогично на гранях, перпендикулярных оси Oy , имеем:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \kappa \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right) = 0. \quad (15)$$

Разностная схема

Решение задачи расчета Φ будем строить итерационно-разностным методом, то есть с использованием простейших симметричных аппроксимаций для вторых производных и метода простой итерации для перерасчета значений искомой величины в узлах разностной сетки. Аппроксимируя вторые производные, входящие в оператор Лапласа симметричными разностями, получим следующий разностный аналог уравнения (3):

$$a_e \Phi_{i-1,j,k} + a_w \Phi_{i+1,j,k} + a_s \Phi_{i,j-1,k} + a_n \Phi_{i,j+1,k} + a_b \Phi_{i,j,k-1} + a_t \Phi_{i,j,k+1} - a_p \Phi_{i,j,k} = 0 \quad (16)$$

Выражая из последнего соотношения $\Phi_{i,j,k}$, получим рекуррентную формулу для пересчета значений искомой величины во внутренних точках области:

$$\Phi_{i,j,k} = \frac{a_e \Phi_{i-1,j,k} + a_w \Phi_{i+1,j,k} + a_s \Phi_{i,j-1,k} + a_n \Phi_{i,j+1,k} + a_b \Phi_{i,j,k-1} + a_t \Phi_{i,j,k+1}}{a_p}. \quad (17)$$

Здесь

$$a_e = a_w = \frac{1}{\Delta x^2}, \quad a_s = a_n = \frac{1}{\Delta y^2}, \quad a_b = a_t = \frac{1}{\Delta z^2}. \quad (18)$$

Разностная аппроксимация условий на свободной поверхности

Возьмем для определенности левую грань параллелепипеда (перпендикулярную оси Ox). Пусть значение первого индекса, равное единице, отвечает рассматриваемой границе. Введем в рассмотрение фиктивный слой точек, которому отвечает индекс ноль, и положим значение потенциала перемещений в этом слое, охватывающем свободную поверхность, равным нулю. Тогда, используя симметричные аппроксимации всех вторых производных, входящих в (14), можем записать

$$\Phi_{1,j,k} = \frac{\Phi_{2,j,k} + \kappa \left(\frac{\Phi_{1,j+1,k} + \Phi_{1,j-1,k}}{\Delta y^2} + \frac{\Phi_{1,j,k+1} + \Phi_{1,j,k-1}}{\Delta z^2} \right)}{\frac{2}{\Delta x^2} + \frac{2\kappa}{\Delta y^2} + \frac{2\kappa}{\Delta z^2}}. \quad (19)$$

В предельном случае $\kappa = 0$ последнее условие переходит в соотношение

$$\Phi_{1,j,k} = \frac{\Phi_{2,j,k}}{2}, \quad (20)$$

являющееся разностной реализацией равенства нулю второй производной от потенциала перемещений по нормальной к свободной поверхности координате в случае, когда в фиктивном слое принимается нулевое значение потенциала. Таким образом, в предельном случае значение потенциала перемещений на свободной поверхности равно половине значения этой величины в ближайшем сеточном узле.

На нижней и верхней гранях параллелепипеда на площадках, перпендикулярных оси, по которой производится сжатие параллелепипеда, задаются следующие дифференциальные условия

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0, \quad (21)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = w_0. \quad (22)$$

Разностный вид этих соотношений получается заменой первых производных от потенциала перемещений односторонними разностями, имеющими порядок аппроксимации выше второго.

Результаты расчетов

Ниже в качестве примера применения описанной схемы расчета представлены результаты сжатия упругого куба с ребром 0,2 м. Предполагалось, что это металлический объект, характеризующийся коэффициентом Пуассона $\nu = 0,3$. Деформации металлических образцов, происходящие в упругом режиме, составляют всего доли процентов от линейных размеров

объекта. Заметим, что математическая постановка задачи допускает использование линейных размеров объекта в системе СИ, то есть в метрах, а расчет перемещения – в технических единицах, то есть в микронах.

На рис. 1 показано распределение нормальной по отношению к боковой границе куба компоненты перемещения в результате его сжатия по вертикали на один микрон. Ввиду симметрии задачи эту же картину имеем на трех других боковых гранях куба. Представленная картина показывает, что вертикальные ребра являются для задачи сжатия по вертикали ребрами жесткости, поскольку наибольшие деформации реализуются в центральной части грани, и наименьшие – у указанных ребер. Кроме того, деформации неравномерно распределены по направлению сжатия, так как максимальные деформации отмечаются в окрестности контакта образца со сжимающим телом.

На рис. 2 показано распределение вертикальной компоненты перемещений (w -компоненты) в горизонтальном сечении, проходящем через середину куба. Здесь также наблюдаем выраженную неоднородность смещений.

Наконец, рис. 3 представляет горизонтальную составляющую смещения, находящуюся на боковой грани куба (v -компоненту смещения).

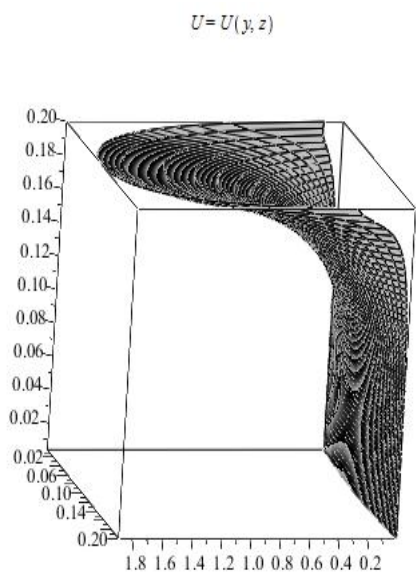


Рис. 1. Распределение нормальной по отношению к боковой поверхности компоненты перемещения

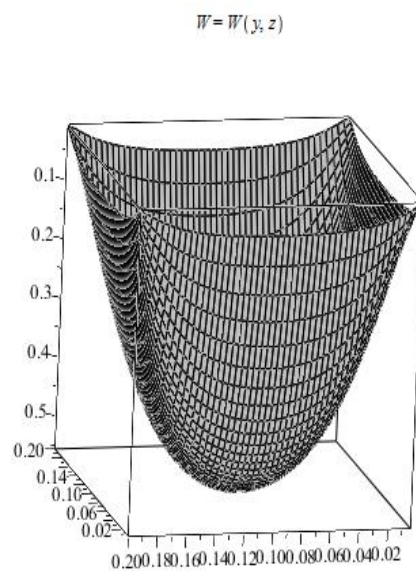


Рис. 2. Распределение продольной по отношению к оси сжатия компоненты перемещения

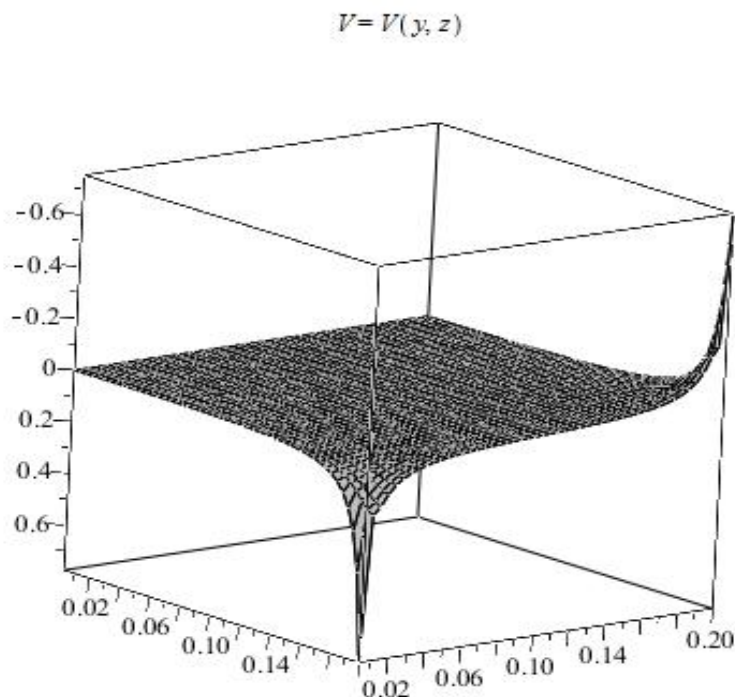


Рис. 3. Распределение горизонтальной и касательной по отношению к боковой поверхности компоненты перемещения

Заключение

В работе предложена схема расчета потенциальных деформаций упругих тел, основанная на введении потенциала перемещений.

Предложена итерационно-разностная вычислительная технология реализации поставленной задачи, главными особенностями которой является простота и универсальность. Рассмотрен пример задачи о сжатии упругого куба, расчетами найдено поле векторов перемещений частиц среды рассматриваемого тела.

Литература

1. Демидов С.П. Теория упругости. – М. : Высшая школа, 1979. – 340 с.
2. Хан Х. Теория упругости. Основы линейной теории и ее применения. – М.: Мир, 1988. – 344 с.
3. Ляв А. Математическая теория упругости. – М.-Л. : Главная редакция общетехнической литературы и номографии, 1935. – 674 с.

Бубенчиков Михаил Алексеевич, кандидат физико-математических наук, преподаватель Томского государственного университета. E-mail: mi-chaell121@mail.ru

Бубенчиков Алексей Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой теоретической механики ММФ Томского государственного университета.

Тумэрпурэвийн Намнан, доктор, профессор Монгольского университета науки и технологии. E-mail: namnan@must.edu.mn, tu_namnan@yahoo.com

Цыренова Валентина Бабасановна, доктор педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой геометрии Бурятского государственного университета. E-mail: v.ts@mail.ru

Энхбат Ренцен, профессор, директор Института Математики Национального университета Монголии. E-mail: renkhat46@yahoo.com, <http://smcs.num.edu.mn/enkhat>

Bubenchikov Mikhail Alekseevich, candidate of physical and mathematical sciences, teacher, Tomsk State University.

Bubenchikov Aleksey Mikhailovich, doctor of physical and mathematical sciences, professor, head of the department of theoretical mechanics, MMF Tomsk State University.

Tumerpurevin Namnan, Ph.D., professor, director, School of Mathematics, Mongolian university of Science and Technology.

Tsyrenova Valentina Babasanovna, associate professor, doctor of pedagogical sciences, head of the department of geometry, Buryat State University.

Enkhat Rentsen, professor, director of Institute of Mathematics, National University of Mongolia.

УДК 534.26; 621.371.33

© П.Н. Дагуров, А.В. Дмитриев

О МЕТОДЕ РАСЧЕТА ДИФРАКЦИОННЫХ ИНТЕГРАЛОВ

На основе представлений о граничной дифракционной волне в зоне Френеля получен одномерный дифракционный интеграл, описывающий решение задачи дифракции на круговом отверстии. Проведено сравнение полученного решения с классическим.

Ключевые слова: дифракция Френеля, дифракционный интеграл, круговое отверстие, граничная волна.

© P.N. Dagurov, A.V. Dmitriev

ON THE METHOD OF DIFFRACTION INTEGRALS CALCULATION

One-dimensional diffraction integral, which describes a solution of diffraction phenomena at a circular aperture, was obtained based on the concepts of boundary diffraction wave in Fresnel zone. A comparison of the solution with the classical ones was made.

Keywords: Fresnel diffraction, diffraction integral, circular aperture, boundary wave.

В работах [1-3] был предложен метод нахождения дифракционного поля за отверстиями с произвольной формой края при условии нахождении точки наблюдения в зоне Френеля. Основой данного метода является преобразование исходного поверхностного дифракционного интеграла в линейный интеграл по контуру отверстия. Это позволяет заметно уменьшить вычислительную сложность подобных дифракционных задач.

В данной работе рассматривается обоснование работ [1-3] на примере сравнения классического решения задачи дифракции на круговом отверстии с решением, полученным методом граничной дифракционной волны.

Для кругового отверстия в случае радиальной симметрии поля в апертуре существует классическое решение в виде одномерного интеграла [4, 5], которое при нормальном падении плоской волны на отверстие радиуса R с центром на оси z имеет вид

$$W = \frac{ik}{d} \exp\left[-ik\left(d + \frac{r_0^2}{2d}\right)\right] \cdot \int_0^R J_0(krr_0/d) \exp(-ikr^2/2d) \cdot r dr, \quad (2)$$

где W – множитель прохождения поля, $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, λ – длина волны, d – расстояние по оси z от отверстия до точки наблюдения,

$J_0(x)$ – функция Бесселя нулевого порядка. Интеграл (2) можно выразить через функции Ломмеля [4].

Используя результаты работ [1-3], аналогичное выражение для множителя прохождения после параметрического задания окружности и устремления источника в бесконечность (плоская волна) можно записать в виде

$$W = \varepsilon + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{R(r_0 \cos(t - \phi_0) - R)}{R^2 - 2Rr_0 \cos(t - \phi_0) + r_0^2} \exp\left(\frac{ik}{2d}(R^2 - 2Rr_0 \cos(t - \phi_0) + r_0^2)\right) dt. \quad (3)$$

Здесь $\varepsilon = 1$, если точка наблюдения находится в освещенной области, и $\varepsilon = 0$ в случае нахождения ее в тени, r_0, ϕ_0 – полярные координаты точки наблюдения.

Преобразование интеграла (3) в (2) осуществить не удастся. Для их сравнения были проведены вычисления непосредственно по данным формулам с помощью адаптивных квадратурных формул Гаусса–Кронрода, которые показали, что в вычислительном плане в случае нормального падения волны между обоими подходами нет различия (относительная ошибка меньше 10^{-12}). На основании этого можно предположить, что получено новое интегральное равенство, т.е. равенство выражений (2) и (3). На рис. 1 показаны результаты расчетов по формулам (2) и (3) для распределения уровня поля поперек оси z , которые совпадают между собой.

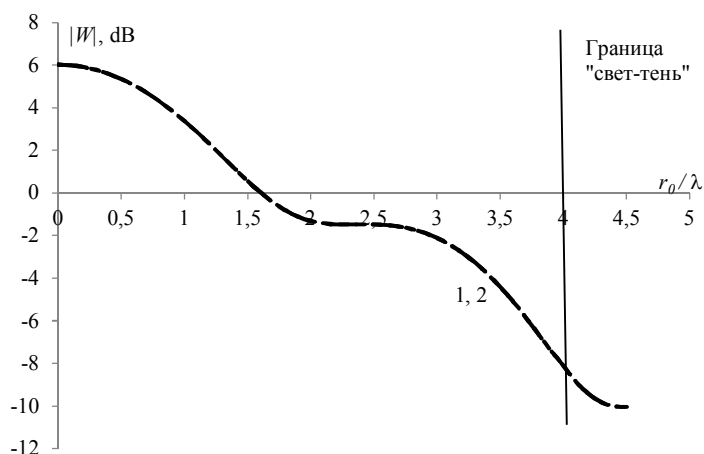


Рис. 1. Распределение уровня поля за круговым отверстием. Плоская волна $R=4\lambda$, 1 – расчет по формуле (2); 2 – расчет по формуле (3)

Таким образом, в работе получено новое решение классической задачи дифракции на круговом отверстии. Совпадение решений в пределах вычислительной погрешности позволяет утверждать, что получено новое интегральное равенство. Решение (3) является более общим, чем (2), поскольку позволяет рассчитать дифракцию волны, не имеющей

радиальной симметрии и падающей на апертуру под произвольным углом. Представление дифракционного поля в виде граничной волны выглядит предпочтительным в связи с развитием вычислительной техники и современных программных средств, допускающих эффективное вычисление одномерных дифракционных интегралов.

Литература

1. Дагуров П.Н., Дмитриев А.В. О граничной дифракционной волне в теории Френеля-Кирхгофа // Письма в ЖТФ. – 2009. – Т. 35, № 10. – С. 49-57.
2. Дагуров П.Н., Дмитриев А.В. Граничные дифракционные волны при многократной дифракции Френеля-Кирхгофа // Оптика и спектроскопия. – 2009. – Т.107, №2. – С. 306-311.
3. Дагуров П.Н., Дмитриев А.В. Дифракция Френеля на отверстиях с произвольной формой контура // Вестник Бурятского государственного университета. – 2012. – Спецвып. В. – С. 231-233.
4. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973. – 720 с.
5. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. – М.: МГУ, Наука, 2004. – 656 с.

Дагуров Павел Николаевич, д-р физ.-мат. наук, доцент кафедры экспериментальной и теоретической физики БГУ, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24 а. Тел. 8(301-2) 43-46-64. Факс 8(301-2) 43-31-84. E-mail: pdagurov@gmail.com

Дмитриев Алексей Валерьевич, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Института физического материаловедения СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6. Тел. 8(301-2) 43-46-64. Факс 8(301-2) 43-31-84. E-mail: dav@ipms.bsnet.ru

Dagurov Pavel Nikolaevich, doctor of physical and mathematical sciences, associate professor, department of experimental and theoretical physics, Buryat State University, 670000, Ulan-Ude, Smolina St., 24 a, phone. 8(301-2) 43-46-64. Fax 8(301-2) 43-31-84. E-mail: pdagurov@gmail.com

Dmitriev Aleksey Valerievich, candidate of physical and mathematical sciences, senior researcher, Institute of Physical Material Science SB RAS, 670047, Ulan-Ude, Sakhyanovoy St., 6, phone. (301-2) 43-46-64. Fax 8(301-2) 43-31-84. E-mail: dav@ipms.bsnet.ru

УДК 517.968

© Т.Г. Дармаев, Ж.Г. Дамбаев

О НЕСТАЦИОНАРНОМ ОБТЕКАНИИ ПРОИЗВОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Методом интегральных уравнений задача о нестационарном обтекании произвольного профиля, колеблющегося в потоке идеальной несжимаемой жидкости, приведена к интегральным уравнениям Фредгольма второго рода относительно величины стационарной скорости и амплитудного значения нестационарной части относительной скорости.

Ключевые слова: нестационарное обтекание произвольного профиля, идеальная несжимаемая жидкость, метод интегральных уравнений.

© T.G. Darmaev, Zh.G. Dambaev

ON UNSTEADY FLOW OF ARBITRARY PROFILE

By the use of the method of integral equations, a problem on unsteady flow of arbitrary profile, fluctuating in a stream of ideal incompressible liquid is resulted in Fredholm's integral equations of the second type concerning the value of stationary speed and amplitude value of unsteady part of relative speed.

Keywords: unsteady flow of arbitrary profile, ideal incompressible liquid, method of integral equations.

Введение

В 1922 г. Прандтль [1] сформулировал плоскую задачу о неустановившемся движении профиля при переменной циркуляции, указав, что в этом случае позади профиля должен образовываться вихревой след, форма которого, так же как и плотность распределения его вихрей, неизвестна. Точное решение этой задачи Прандтль охарактеризовал как задачу «трансцендентной» трудности.

Первое приближенное решение задачи было дано в 1924 г. Бирнбаумом [2], который рассмотрел бесконечно тонкую слабоизогнутую пластинку, движущуюся с постоянной скоростью вдоль оси OX и совершающую гармонические колебания в направлении оси OY и вращательные гармонические колебания около начала координат. Считая, что амплитуда колебаний весьма мала, Бирнбаум предположил, что вихревой след является прямолинейным и совпадающим с осью OX и что вихри этого следа в абсолютной системе координат неподвижны.

Весьма интересной оказалась работа Вагнера [3], вышедшая в 1925 г., в которой он рассматривал случай прямолинейного неустановившегося движения пластинки, наметив в конце работы некоторые соображения относительно случая ее вращения. Он исследовал обтекание прямолинейной пластинки поступательным потоком и потоком,

вызываемым вихревым следом. Общие выражения для сил и моментов Вагнер устанавливает на основе теоремы импульсов и теоремы моментов.

В 1926 г. Чаплыгин [4] установил общие формулы для сил и моментов, которые действуют на плоское тело, движущееся в идеальной несжимаемой жидкости произвольным образом. Несколько позднее аналогичные формулы были получены в 1928 г. Карафоли [5] и в 1926 г. Глауртом [6]. Эти работы представляли собой значительное достижение в области нестационарной теории крыла. Если Чаплыгин установил общие формулы для силы и момента, но ограничился при рассмотрении примеров лишь случаем постоянной циркуляции, то Вагнер и Глауэрт для слабоизогнутой пластинки установили вид силы и момента для случая переменной циркуляции во времени и вычислили их для случаев равноускоренного прямолинейного движения и малых колебаний около состояния прямолинейного движения.

В 1935 г. также появилась работа М.В.Келдыша и М.В.Лаврентьева [7], посвященная теории колеблющейся пластинки с переменной циркуляцией. Авторы шли иным путем, чем Глауэрт, и получили для добавочной силы, нормальной к пластинке, то же самое выражение, что и Глауэрт, а для подсасывающей силы – несколько иное выражение, учитывающее более точно влияние вихревого следа. В 1935 г. появилась работа Л.И. Седова [8], в которой автор устанавливает выражения для силы и момента, действующих на нестационарно движущийся профиль, и выражает их через интегралы, содержащие производные от комплексного потенциала возмущенного движения. В 1936 г. [9] и более подробно в 1939 г. [10] Л.И. Седов рассмотрел случай неустановившегося движения бесконечно тонкого малоизогнутого крыла, которое в первом приближении может быть заменено прямолинейным отрезком, который является линией разрыва касательных скоростей и давлений. Вихревой след с плотностью вихрей $\gamma = -\frac{d\Gamma}{dt}$ будет представлять собой как бы продолжение этого отрезка. Используя аппарат интеграла Коши Л.И. Седов получает формулу для силы Y и момента M , а также интегральное уравнение Вагнера–Глаурта.

Дальнейшее развитие теория нестационарных движений получила в работе Н.Н. Полякова в 1960 г. [11]. Автор попытался изложить теорию нестационарных движений крыла бесконечного размаха по возможности в общей и простой форме, используя представление потенциала Φ абсолютного возмущенного движения жидкости в форме, аналогичной форме Кирхгоффа. Исследовано влияние сил, связанных с наличием вихревого следа, который предполагается расположенным вдоль «нулевой» линии тока стационарного потока.

В книге Д.Н. Горелова [12] в компактной ясной форме с приведением последних достижений изложена линейная теория крыла в нестационарном потоке несжимаемой жидкости и газа, в которой вихревой след предполагается заданным. Рассмотрена также нелинейная задача о

нестационарном обтекании бесконечно тонкого криволинейного профиля, решенная автором совместно с Р.Л. Куляевым методом дискретных вихрей [13].

В связи с развитием применения быстродействующих ЭВМ появились работы [13-15], в которых разрабатываются методы решения ряда задач нелинейной теории крыла в нестационарном потенциальном потоке несжимаемой жидкости. Нелинейность этих задач обусловлена влиянием вихревой пелены за крылом, форма которой не задается заранее, а определяется в процессе решения. Общим для всех методов является линеаризация задачи в малой окрестности каждого момента времени и моделирование пелены за крылом системой свободных вихрей. Это позволяет строить решение шаг за шагом по времени, начиная с момента, для которого известно поле скоростей течения.

Итак, по данному вопросу в настоящее время опубликовано большое число специальных монографий и журнальных статей, но практически все имеющиеся результаты получены для слабоизогнутых и тонких профилей. Целью данной работы является вывод интегральных уравнений для нестационарного обтекания произвольного профиля.

1. Постановка задачи

Рассмотрим нестационарное безотрывное обтекание плоским потенциальным потоком несжимаемой жидкости произвольного профиля, колеблющегося как твердое тело с малой амплитудой по некоторому гармоническому закону.

Введем прямоугольную систему координат OXY так, что ось OX совпадает с геометрической хордой профиля, в среднем положении, причем $x=0$ соответствует носу, а координата $x=1$ – хвосту профиля. Обозначим через L_t контур профиля в момент времени t , а через L – контур профиля в среднем положении. Обозначим соответственно C_t и C – вихревые следы, D_t^- и D^- – области вне контуров L_t и L с разрезом вдоль линий вихревых следов C_t и C .

Предположим, что в бесконечном удалении перед профилем жидкость имеет постоянную скорость V_∞ .

Условие потенциальности потока позволяет ввести в рассмотрение функцию потенциала скорости $\phi(x, y, t)$: $\vec{V} = \text{grad}\phi$.

Для нахождения которой мы имеем следующую краевую задачу Неймана:

$$\Delta\phi = 0 \tag{1.1}$$

в плоскости течения D_t^- ;

со следующими граничными условиями:

1) непротекания жидкости через профиль:

$$(\nabla\phi - \vec{V}_1) \cdot \nu = 0, \tag{1.2}$$

где ν – внешняя нормаль к контуру, \bar{V}_1 – скорость точек профиля;

2) затухания возмущенных скоростей на бесконечности, за исключением линии вихревого следа:

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \nabla \phi = \bar{V}_\infty, \quad r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1.3)$$

3) конечности скорости жидкости в задней (выходной) острой кромке профиля В (постулат Кутта–Жуковского):

$$|\nabla \phi|_B < \infty, \quad (x, y) \in L_t \quad (1.4)$$

4) непрерывности нормальной составляющей скорости жидкости при переходе через вихревой след:

$$[v_\gamma] = 0, \quad [p] = 0, \quad (x, y) \in C_t \quad (1.5)$$

В общем случае около колеблющегося профиля область течения меняется со временем. Это происходит как от перемещения профиля, так и от изменения формы вихревого следа. Поэтому возникает нелинейная задача. В нашем случае мы рассматриваем обтекание в рамках линейной теории, в которой форма вихревого следа предполагается заданной, а граничные условия с колеблющегося профиля сносятся на его среднее положение. Иначе говоря, область течения жидкости оказывается неизменной с течением времени. Кроме того, движение профиля предполагается периодическим в течение бесконечного промежутка времени. В этом случае движение жидкости во всей области течения устанавливается также периодическим.

Представим потенциал скорости движения жидкости в виде:

$$\phi(x, y, t) = \phi_0(x, y) + \phi_1(x, y, t),$$

где ϕ_0 – потенциал скорости стационарного течения жидкости около неподвижного профиля, а ϕ_1 – дополнительный потенциал скорости, учитывающий колебания профиля.

В дальнейшем ϕ_1 и $\nabla \phi_1$ будем считать, в силу предположения о малости амплитуды колебания по сравнению с характерным размером, первого порядка малости по сравнению с характерным размером, величинами первого порядка малости по сравнению с ϕ_0 и $\nabla \phi_0$ соответственно. С учетом этих предположений вышеставленная задача (1.1) – (1.5) является линейной. Это позволяет задачи определения потенциала скорости $\nabla \phi_0$ стационарного течения и дополнительного потенциала ϕ_1 , вызванного нестационарностью течения, решать независимо друг от друга. Задача при этом линеаризуется относительно нестационарных параметров течения.

2. Вывод интегральных уравнений

Для решения вышеставленной задачи применяем метод интегральных уравнений [16, 17]. В основе метода лежит интегральное представление аналитической функции в области через ее значения на

границе области. Записывая предельное значение функции на профиле как краевое значение аналитической во внешности профиля функции, нетрудно получить интегральное уравнение относительно значений искомой функции на профиле. В качестве искомой функции можно при этом брать комплексно-сопряженную скорость жидкости $\bar{V} = V_x - iV_y$ или любую функцию скорости (например, $\ln V$), аналитическую во внешности профиля.

Особенностью интегрального уравнения, получаемого описанным выше способом, является то, что для его однозначного решения необходимо задавать циркуляцию скорости жидкости вокруг профиля. Последняя может быть определена из решения уравнения, если предполагать известной одну из критических точек профиля, где скорость жидкости равна нулю, в случае профиля с острой задней кромкой используется постулат Кутта–Жуковского.

Итак, применяем метод интегральных уравнений к нашей задаче. Существенное отличие рассматриваемой задачи от задачи о стационарном обтекании профиля в том, что помимо смещения профиля в общем случае неустановившегося течения за профилем существуют свободные вихри, которые сносятся потоком и образуют вихревой след. В принятых выше предположениях о малости нестационарных возмущений скорости можно считать, что свободные вихри за профилем движутся со скоростью $v_0(\tau)$ стационарного потока, а вихревой след совпадает с критической линией тока в стационарном потоке. Обозначим через $\tau(t)$ текущую координату некоторого свободного вихря за профилем. Длина дуги τ отсчитывается вдоль линии вихревого следа S от задней кромки. Пусть t_1 – фиксированный момент времени. В соответствии с теоремой Томсона общая циркуляция всей системы вихрей на профиле и в вихревом следе за ним должна сохраняться. Отсюда для момента времени $t = t_1 + \int_0^\tau \frac{d\tau}{v_0(\tau)}$

получаем:

$$\Gamma(t) + \int_0^{\tau(t)} \eta(\tau, t) d\tau = \Gamma(t_1),$$

где $\Gamma(t)$ – циркуляция скорости жидкости около профиля в момент времени t , η – погонная интенсивность вихрей в следе S за профилем.

Дифференцируя последнее равенство по времени и учитывая $\frac{d\tau}{dt} = v_0(\tau)$, будем иметь:

$$\left. \frac{\partial \Gamma}{\partial t} \right|_{t=t_1} + v_0(\tau) \eta(\tau, t) = 0, \quad t_1 = t - \int_0^\tau \frac{d\tau}{v_0(\tau)}.$$

Откуда разрыв касательной, составляющей скорости жидкости на линии вихревого следа, равен:

$$\eta(\tau, t) = -\frac{1}{v_0(\tau)} \frac{\partial \Gamma}{\partial t} \Big|_{t=\tau}. \quad (2.1)$$

При этом задняя критическая точка на профиле предполагается фиксированной.

Комплексная скорость жидкости $\bar{V} = V_x - iV_y$ в области D_t^- является аналитической функцией. Отсюда по формуле Коши для произвольной точки получим:

$$\bar{V}(z, t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{L_t} \frac{\bar{V}(\zeta, t)}{z - \zeta} d\zeta + \frac{1}{2\pi i} \int_{C_t} \frac{\eta(\tau, t)}{z - \zeta^*(\tau)} d\tau + \bar{V}_\infty, \zeta^*(\tau) \in C_t. \quad (2.2)$$

При этом обход контура L_t совершается так, чтобы область D_t^- оставалась справа. Представим комплексную скорость жидкости в точке $\zeta = \xi + i\eta$ профиля в виде:

$$\bar{V}(\zeta, t) = \bar{V}_0(\zeta_0) + \bar{V}(\zeta_0) e^{j\omega t}, \quad \zeta_0 \in L, \quad (2.3)$$

где ω – круговая частота колебаний, j – мнимая единица, связанная с временными процессами.

Условие непротекания представим в форме

$$\bar{V}_r(\zeta, t) = v(s, t) e^{-i\alpha_1(s, t)}, \quad (2.4)$$

где s – длина дуги контура L , отсчитываемая от выходной кромки в направлении положительного обхода контура L , $\bar{V}_r = \bar{V} - j\omega A \bar{g}(s) e^{j\omega t}$ – комплексно-сопряженная относительная скорость жидкости на профиле, A – амплитуда колебаний, $\bar{g} = g_x - ig_y$ – комплексная форма колебаний профиля, $\alpha_1(s, t) = \alpha(s) + \beta(s) e^{j\omega t}$ – угол между касательной к контуру L_t и осью ОХ.

Модуль относительной скорости жидкости в точке s профиля, согласно (2.3), запишется так:

$$v(s, t) = v_0(s) + v(s) e^{j\omega t}, \quad (2.5)$$

где $\left| \frac{v(s)}{V_\infty} \right| \ll 1$.

Величина касательного разрыва скорости жидкости на линии вихревого следа определится, согласно (2.1), из равенства:

$$\eta(\tau, t) = -\frac{1}{v_0(\tau)} \frac{\partial}{\partial t} \left[\operatorname{Re}_i \int_{L_t} \bar{V}(\zeta, t) d\zeta \right] \Big|_{t=\tau}.$$

Отсюда, переходя к комплексно-сопряженной относительной скорости жидкости и учитывая (2.4) и (2.5), а также $d\zeta = e^{i\alpha_1(s, t)} ds$, получим:

$$\eta(\tau, t) = -j\omega \frac{e^{-j\omega \hat{A}(\tau)}}{v_0(\tau)} \left[\int_L v(s) ds + j\omega A \operatorname{Re}_i \left(\int_L \bar{g}(s) e^{i\alpha_1(s)} ds \right) \right] e^{j\omega t}. \quad (2.6)$$

Равенство (2.2), учитывая (2.3)-(2.6), запишем в виде:

$$\begin{aligned} \bar{V}(z, t) = & \frac{1}{2\pi i} \int_L \frac{v_0(\sigma) + v(\sigma)e^{j\omega t}}{z - \zeta(\sigma, t)} d\sigma + \frac{j\omega A e^{j\omega t}}{2\pi i} \int_L \frac{\bar{g}(\sigma)e^{i\alpha_1(\sigma, t)}}{z - \zeta(\sigma, t)} d\sigma - \\ & - \frac{j\omega e^{j\omega t}}{2\pi i} \left[\int_L v(\sigma) d\sigma + j\omega A \operatorname{Re}_i \left(\int_L \bar{g}(\sigma) e^{i\alpha_1(\sigma, t)} d\sigma \right) \right] \times \\ & \times \int_0^\infty \frac{e^{-j\omega T(\tau)}}{v_0(\tau)(z - \zeta^*(\tau, t))} d\tau + \bar{V}_\infty, \end{aligned} \quad (2.7)$$

где $\zeta(\sigma, t) = \zeta(\sigma) + Ag(s)e^{j\omega t}$, $\zeta(\sigma) \in L$, $\zeta^* \in C$ и интегрирование в пределах $(0, \infty)$ ведется вдоль линии вихревого следа C .

Устремим в равенстве (2.7) точку z из области течения к точке

$$Z_0(s, t) = z_0(s) + Ag(s)e^{j\omega t}, \quad z_0(s) \in L,$$

согласно формулам Сохоцкого:

$$\begin{aligned} \bar{V}(z_0, t) = & \frac{1}{2} \bar{V}(Z_0(s, t), t) + \frac{1}{2\pi i} \int_L \frac{v_0(\sigma) + v(\sigma)e^{j\omega t}}{z_0 - \zeta} d\sigma + \frac{j\omega A e^{j\omega t}}{2\pi i} \int_L \frac{\bar{g}(\sigma)e^{i\alpha_1(\sigma, t)}}{z_0 - \zeta(\sigma, t)} d\sigma - \\ & - \frac{j\omega e^{j\omega t}}{2\pi i} \left[\int_L v(\sigma) d\sigma + j\omega A \operatorname{Re}_i \left(\int_L \bar{g}(\sigma) e^{i\alpha_1(\sigma, t)} d\sigma \right) \right] \times \int_0^\infty \frac{e^{-j\omega T(\tau)}}{v_0(\tau)(z_0 - \zeta^*(\tau))} d\tau + \bar{V}_\infty. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Перейдем в этом равенстве к комплексно-сопряженной относительной скорости жидкости на профиле и разложим полученное выражение в ряд по степеням амплитуды колебаний профиля A . Подставляя $Z_0(s, t) = z_0(s) + Ag(s)e^{j\omega t}$, $z_0(s) \in L$, и учитывая формулы (2.4) и (2.5), получим следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \int_L \frac{v_0(\sigma) + v(\sigma)e^{j\omega t}}{z_0 - \zeta} d\sigma = & \int_L \frac{v_0(\sigma) + v(\sigma)e^{j\omega t}}{z_0(s) - \zeta(\sigma)} d\sigma - e^{j\omega t} \int_L v_0(\sigma) \frac{g(s) - g(\sigma)}{(z(s) - \zeta(\sigma))^2} Ad\sigma + \\ & + o\left(A \cdot \left| \frac{v}{V_\infty} \right|, A^2\right) \\ \frac{1}{2} \bar{V}(Z_0, t) - \frac{1}{2} j\omega A \overline{g(s)} e^{j\omega t} = & v_0(s) e^{-i\alpha(s)} + v(s) e^{j\omega t} e^{-i\alpha(s)} - i\beta(s) v_0(s) e^{j\omega t} e^{-i\alpha(s)} + \\ & + o\left(\beta \cdot \left| \frac{v}{V_\infty} \right|, \beta^2\right), \end{aligned}$$

где $\alpha(s)$ – угол между касательной к контуру L и осью OX , отсчитываемый от оси OX против часовой стрелки.

Из (2.8) в соответствии с последними равенствами с точностью до членов первого порядка малости получим:

$$\begin{aligned}
 \frac{e^{-i\alpha(s)}}{2} [v_0(\sigma) + v(\sigma)e^{j\omega t}] &= \frac{1}{2\pi i} \left(\int_L \frac{v_0(\sigma)}{z-\zeta} d\sigma + \frac{ie^{-i\alpha(s)}}{2} \beta(s)e^{j\omega t} v_0(s) + \right. \\
 &+ \frac{e^{j\omega t}}{2\pi i} \int_L \frac{v(\sigma)d\sigma}{z-\zeta} + \frac{j\omega e^{j\omega t} A}{2\pi i} \int_L \frac{\bar{g}(\sigma)e^{i\alpha(\sigma)} d\sigma}{z-\zeta} - \frac{Ae^{j\omega t}}{2\pi i} \int_L \frac{v_0(\sigma)(g(s)-g(\sigma))d\sigma}{(z-\zeta)^2} - \\
 &- \left. \frac{j\omega e^{j\omega t}}{2\pi i} \left[\int_L v(\sigma)d\sigma + j\omega A \int_L g(\sigma)e^{i\alpha_1(\sigma,t)} d\sigma \right] \times \right. \\
 &\times \int_0^\infty \frac{e^{-j\omega T(\tau)} d\tau}{v_0(\tau)(z-\zeta^*)} - \left. \frac{j\omega e^{j\omega t}}{2} \overline{Ag(s) + \bar{V}_\infty} \right). \quad (2.9)
 \end{aligned}$$

Объединим в равенстве (2.9) члены с экспоненциальным множителем. Получим два интегральных уравнения относительно величины стационарной скорости $v_0(s)$ на профиле и амплитудного значения нестационарной части относительной скорости $v(s)$:

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} v_0(\sigma) e^{-i\alpha(s)} - \frac{1}{2\pi i} \left(\int_L \frac{v_0(\sigma)}{z-\zeta} d\sigma = \bar{V}_\infty, \quad \bar{V}_\infty = V_\infty e^{-i\theta}, \quad V_\infty = |\bar{V}_\infty| \right) \\
 \frac{e^{-i\alpha(s)}}{2} v(s) - \frac{1}{2\pi i} \int_L \frac{v(\sigma)d\sigma}{z-\zeta} - j\omega \int_0^\infty \frac{e^{-j\omega T(\tau)} d\tau}{v_0(\tau)(z-\zeta^*)} = \\
 = -\frac{A}{2\pi i} \int_L v_0(\sigma) \frac{g(s)-g(\sigma)}{(z-\zeta)^2} d\sigma + \frac{ie^{-i\alpha(s)} \beta(s)}{2} v_0(s) + \\
 + \frac{j\omega A}{2\pi i} \int_L \frac{\bar{g}(\sigma)e^{i\alpha(\sigma)} d\sigma}{z-\zeta} + \frac{\omega^2 A}{2\pi i} \int_L g(\sigma)d\sigma \times \int_0^\infty \frac{e^{-j\omega T(\tau)} d\tau}{v_0(\tau)(z-\zeta^*)} - \frac{j\omega A}{2} \overline{g(s)}.
 \end{aligned}$$

Приравнивая действительные по i части слева и справа, получим интегральные уравнения следующего вида:

$$\frac{v_0(\sigma)}{2} - \frac{1}{2\pi} \int_L v_0(\sigma) K(s, \sigma) d\sigma = \bar{V}_\infty \cos(\alpha(s) - \theta) \quad (2.10)$$

$$\frac{v(s)}{2} - \frac{1}{2\pi} \int_L v(\sigma) R(s, \sigma) d\sigma = A \left[\operatorname{Re}_i \Phi(s) + \frac{1}{2\pi} \omega^2 A_1 \times \int_0^\infty e^{-j\omega u} K(s, u) du \right] \quad (2.11)$$

где $K(s, \sigma), R(s, \sigma)$ – ядра интегральных уравнений.

Заключение

Таким образом, метод интегральных уравнений приводит задачу о нестационарном обтекании произвольного профиля, колеблющегося в потоке идеальной несжимаемой жидкости, к интегральным уравнениям Фредгольма второго рода относительно величины стационарной скорости (2.10) и амплитудного значения нестационарной части относительной скорости (2.11).

Литература

1. Prandtl L. Uber die Entstehung von Wirbeln in einer idealen Flussigkeit // Vortrage zur Hydro-und Aerodynamik. Berlin, 1924.
2. Birnbaym W. Das ebene Problem des schlagenden Flugeln // ZAMM.-1924. – V.4.
3. Wagner H. Uber die Einstehung des dynamischen Auftriebs von Tragflugeln. 1925.
4. Чаплыгин С.А. О влиянии плоскопараллельного потока воздуха на движущее в нем цилиндрическое крыло // Труды ЦАГИ. – 1926. – Вып. 19.
5. Carafoli E. Aerodynamique des ailes d'avion // Paris: Librairie Chiron-Editeur, 1928.
6. Glauert H. The force and moment on an oscilating airfoil // Rep. and mem., 1935.
7. Келдыш М.В., Лаврентьев М.А. К теории колеблющегося крыла // Технические заметки ЦАГИ. – 1935. - № 45.
8. Седов Л.И. К теории неустановившихся движения внутри жидкости // Труды ЦАГИ. – 1935. – Вып. 229.
9. Седов Л.И. Теория нестационарного глиссирования и движения крыла со сбегаящими вихрями // Труды ЦАГИ. – 1936. – Вып. 252.
10. Седов Л.И. Теория плоских движений идеальной жидкости. – ГТТИ, 1939.
11. Поляков Н.Ф. Теория нестационарных движений несущей поверхности. – Л., 1960.
12. Горелов Д.Н. Теория крыла в нестационарном потоке. – Новосибирск, 1975.
13. Горелов Д.Н., Куляев Р.Л. Нелинейная задача о нестационарном обтекании профиля несжимаемой жидкостью // Известия АН СССР. МЖГ. – 1971. – №6.
14. Головкин В.А. Нелинейная задача о неустановившемся обтекании произвольного профиля со свободно деформирующимся вихревым следом // Ученые записки ЦАГИ. – 1972. – Т.3, №3.
15. Павловец Г.А. Методы расчета обтекания сечения крыла идеальным несжимаемым потоком // Труды ЦАГИ. – 1971. – Вып. 1344.
16. Горелов Д.Н., Курзин В.Б., Сарян В.Э. Аэродинамика решеток в нестационарном потоке. – Новосибирск, 1971.
17. Бицадзе А.В. Основы теории аналитических функций комплексного переменного. – М., 1972.

Дармаев Тумэн Гомбоцыренович, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры прикладной математики Бурятского государственного университета, заведующий лабораторией вычислительных и геоинформационных технологий Научно-образовательного и инновационного центра системных исследований и автоматизации БГУ, 670000 г.Улан-Удэ, ул.Смолина 24а, тел.(3012)221215. E-mail: dtg@bsu.ru

Т.Г. Дармаев, Ж.Г. Дамбаев. О нестационарном обтекании произвольного профиля

Дамбаев Жаргал Гомбоевич, д-р техн. наук, проф., заведующий лабораторией оптимального управления Научно-образовательного и инновационного центра системных исследований и автоматизации БГУ, 670000 г.Улан-Удэ, ул.Смолина, 24а, тел.(3012)221215.

Darmaev Tumen Gombotsyrenovich, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, department of applied mathematics, Buryat State University, head of the laboratory of numerical and geoinformational technologies, Scientific and Educational Innovation Centre For System Research and Automation, Buryat State University. 670000, Ulan-Ude, Smolina St., 24a, phone: (3012)221215.

Dambaev Zhargal Gomboevich, doctor of technical sciences, professor, head of the laboratory of optimal control, Scientific and Educational Innovation Centre For System Research and Automation, Buryat State University. 670000, Ulan-Ude, Smolina St., 24a, phone: (3012)221215.

УДК 537.876:537.622.6

© Г.Б. Итигилов, Д.Ш. Ширапов

**ДИСПЕРСИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБРИДНЫХ ВОЛН
В ОГРАНИЧЕННЫХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ГИРОТРОПНЫХ
ОБЛАСТЯХ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ НАМАГНИЧИВАНИИ**

Впервые получены дисперсионные уравнения гибридных волн в ограниченных эллиптических гиротропных областях с бесконечно проводящими стенками при продольном намагничивании.

Ключевые слова: электромагнитная волна, ограниченная область, уравнения Максвелла, продольное намагничивание.

© G.B. Itigilov, D.Sh. Shirapov

**DISPERSIVE CHARACTERISTICS OF HYBRID WAVES IN LIMITED
ELLIPTIC GIROTROPIC AREAS AT LONGITUDINAL
MAGNETIZATION**

For the first time the dispersive equations of hybrid waves have been obtained in limited elliptic girotropic areas with infinitely carrying out walls at longitudinal magnetization.

Keywords: electromagnetic wave, limited area, Maxwell's equations, longitudinal magnetization.

Введение

Распространение электромагнитных волн (ЭМВ) как в ограниченной, так и в неограниченной продольно-намагниченной гиротропных областях приводит к появлению волн с правым и левым вращением относительно направления намагничивания, совпадающим с направлением распространения. Эти волны имеют разные постоянные распространения, приводящие к вращению плоскости поляризации – эффекту Фарадея. Это свойство широко используется в практических приложениях [1, 2].

В настоящее время распространение ЭМВ в продольно-намагниченных ограниченных прямоугольных и круглых областях достаточно хорошо изучено [1-3]. Но распространение ЭМВ в гиротропных эллиптических областях мало исследовано и носит фрагментарный характер [4].

Целью настоящей работы является вывод дисперсионных уравнений, позволяющих моделировать процесс распространения гибридных ЭМВ в гиротропной эллиптической ограниченной области с бесконечно проводящими стенками в зависимости от напряженности продольного намагничивающего магнитного поля.

Вывод дисперсионных уравнений

Уравнения Максвелла для гармонических процессов без наведенных токов и зарядов имеют вид [1]:

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \bar{H} = j\omega \varepsilon \bar{E}; & \operatorname{rot} \bar{E} = -j\omega \bar{B}; \\ \operatorname{div} \bar{E} = 0; & \operatorname{div} \bar{B} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где \bar{E}, \bar{H} – соответственно, напряженности электрического и магнитного полей; ε – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, $\varepsilon \bar{E} = \bar{D}$ – электрическая индукция, \bar{B} – магнитная индукция, j – мнимая единица, ω – циклическая частота.

При распространении волны в магнитогиротропной среде магнитная индукция \bar{B} в системе (1) примет следующий вид:

$$\bar{B} = \|\mu\| \bar{H}. \quad (2)$$

При продольном намагничивании, когда направление внешнего намагничивающего постоянного магнитного поля совпадает с направлением распространения ЭМВ (волна распространяется вдоль координаты Z), тензор магнитной проницаемости феррита, как следует из [1], имеет вид:

$$\|\mu\| = \begin{bmatrix} \mu & jk & 0 \\ -jk & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_{\parallel} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где

$$\mu = \mu_0 + \mu_0 \frac{\omega_0 \omega_M}{\omega_0^2 - \omega^2}, \quad k = \mu_0 \frac{\omega \omega_M}{\omega_0^2 - \omega^2}, \quad \omega_M = \mu_0 Y M_0, \quad Y = 1.76 \cdot 10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

гиромангнитные отношения для спина электрона, $\omega_0 = \mu_0 Y H_0$ – частота ферромагнитного резонанса, μ_0 – магнитная постоянная, M_0 – намагниченность феррита, H_0 – намагничивающее внешнее магнитное поле.

Знаки перед недиагональными компонентами в (3) могут быть противоположными, если взять $k = -\mu_0 \frac{\omega \omega_M}{\omega_0^2 - \omega^2}$.

В системе (1), разложив $\operatorname{rot} \bar{H}$ и $\operatorname{rot} \bar{E}$ по поперечным осям, после подстановок и преобразований в [5] были получены поперечные компоненты электромагнитного поля:

$$\begin{cases} E_\xi = -\frac{j\gamma a^2}{g_+^2 g_-^2} \frac{1}{ed} \left[\frac{\partial E_z}{\partial \xi} + \frac{w\mu}{\gamma} \frac{c^2}{a^2} \frac{\partial H_z}{\partial \varphi} - \frac{jw^2 \varepsilon k}{a^2} \left(\frac{\partial E_z}{\partial \varphi} - \frac{\gamma}{w\varepsilon} \frac{\partial H_z}{\partial \xi} \right) \right], \\ E_\varphi = -\frac{j\gamma a^2}{g_+^2 g_-^2} \frac{1}{ed} \left[\frac{\partial E_z}{\partial \varphi} - \frac{w\mu}{\gamma} \frac{c^2}{a^2} \frac{\partial H_z}{\partial \xi} + \frac{jw^2 \varepsilon k}{a^2} \left(\frac{\partial E_z}{\partial \xi} + \frac{\gamma}{w\varepsilon} \frac{\partial H_z}{\partial \varphi} \right) \right], \\ H_\xi = \frac{j\gamma a^2}{g_+^2 g_-^2} \frac{1}{ed} \left[\frac{w\varepsilon}{\gamma} \frac{\partial E_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial H_z}{\partial \xi} + \frac{jw^2 \varepsilon k}{a^2} \left(\frac{w\varepsilon}{\gamma} \frac{\partial E_z}{\partial \xi} + \frac{\partial H_z}{\partial \varphi} \right) \right], \\ H_\varphi = -\frac{j\gamma a^2}{g_+^2 g_-^2} \frac{1}{ed} \left[\frac{w\varepsilon}{\gamma} \frac{\partial E_z}{\partial \xi} + \frac{\partial H_z}{\partial \varphi} - \frac{jw^2 \varepsilon k}{a^2} \left(\frac{w\varepsilon}{\gamma} \frac{\partial E_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial H_z}{\partial \xi} \right) \right], \end{cases} \quad (4)$$

где ξ, φ – поперечные координаты эллиптической системы координат, e – фокусное расстояние эллипса, γ – постоянная распространения, $d = \sqrt{ch^2 \xi - \cos^2 \varphi}$, $a^2 = w^2 \mu_{11} \varepsilon - \gamma^2 = w^2 \mu \varepsilon - \gamma^2$, $g_\pm^2 = w^2 \varepsilon \mu \pm w^2 \varepsilon k - \gamma^2$, $c^2 = w^2 \varepsilon \frac{\mu^2 - k^2}{\mu} - \gamma^2$.

Подставив (4) в проекции $rot \bar{H}$, $rot \bar{E}$ на продольную ось и используя $div \bar{B} = 0$, получим волновые уравнения гибридных EH и HE волн соответственно [6]:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial \varphi^2} + e^2 d^2 (w^2 \varepsilon \mu_\perp - \gamma^2) E_z - je^2 d^2 \gamma w k \frac{\mu_\parallel}{\mu} H_z = 0, \\ \frac{\partial^2 H_z}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 H_z}{\partial \varphi^2} + e^2 d^2 \left(w^2 \varepsilon \mu_\parallel - \frac{\mu_\parallel}{\mu} \gamma^2 \right) H_z + je^2 d^2 \gamma w \varepsilon \frac{k}{\mu} E_z = 0, \end{cases} \quad (5)$$

где $\mu_\perp = \frac{\mu^2 - k^2}{\mu}$.

Для решения волновых уравнений (5) применим метод, предложенный в [7]. Затем, подставив полученные решения в (4) и применив граничные условия в виде $E_z = E_\varphi = 0$ на бесконечно проводящей внутренней поверхности ограниченной эллиптической области, получим следующее дисперсионное уравнение:

$$\begin{aligned} & \left[-\left(k_\perp^2 - \gamma^2 - \frac{4q_1}{e^2} \right) \frac{4q_2}{e^2} \frac{Ce'_m(\xi_0, q_1)}{Ce_m(\xi_0, q_1)} + \left(k_\perp^2 - \gamma^2 - \frac{4q_2}{e^2} \right) \frac{4q_1}{e^2} \frac{Ce'_m(\xi_0, q_2)}{Ce_m(\xi_0, q_2)} \right] + \\ & + j \frac{\gamma^2 \varepsilon k a^2 \Lambda_1 \Lambda_2}{\mu^2} \left\{ \frac{ce'_m(\varphi, q_2)}{ce_m(\varphi, q_2)} - \frac{ce'_m(\varphi, q_1)}{ce_m(\varphi, q_1)} \right\} + j \frac{\gamma^3 w \varepsilon k}{\mu^2} \left\{ \frac{ce'_m(\varphi, q_1)}{ce_m(\varphi, q_1)} \Lambda_1 - \frac{ce'_m(\varphi, q_2)}{ce_m(\varphi, q_2)} \Lambda_2 \right\} = 0, \end{aligned} \quad (6)$$

где $k_{\perp}^2 = w^2 \varepsilon \mu_{\perp}$, $ce_m(\varphi, q_{1,2})$ – четные обыкновенные функции Матье I-го рода целого порядка m и их производные $ce'_m(\varphi, q_{1,2})$; $Ce_m(\xi, q_{1,2})$ – четные присоединенные (модифицированные) функции Матье I-го рода (с целым индексом) и их производные $Ce'_m(\xi, q_{1,2})$, ξ_0 – граничный эллипс,

$$q_1 = \frac{e^2 \left(k_{\perp} - \gamma^2 - \Lambda_1 \gamma w \varepsilon \frac{k}{\mu} \right)}{4} \quad \text{и} \quad q_2 = \frac{e^2 \left(k_{\perp} - \gamma^2 - \Lambda_2 \gamma w \varepsilon \frac{k}{\mu} \right)}{4} - \text{параметры}$$

функций Матье, $\Lambda_{1,2}$ – корни уравнения

$$\gamma w \varepsilon \frac{k}{\mu} \Lambda^2 + \left(w^2 \varepsilon \mu_{\parallel} - \frac{\mu_{\parallel}}{\mu} \gamma^2 - w^2 \varepsilon \mu_{\perp} + \gamma^2 \right) \Lambda - \gamma w \mu_{\parallel} \frac{k}{\mu} = 0.$$

Известно, что в ограниченных эллиптических областях распространяются четные и нечетные волны [8]. Выражение (6) описывает распространение четных волн. Для получения дисперсионного уравнения для нечетных волн в (6) надо сделать следующую замену:

$$\begin{cases} Ce(\xi_0, q_{1,2}) \rightarrow Se(\xi_0, q_{1,2}), Ce'(\xi_0, q_{1,2}) \rightarrow Se'(\xi_0, q_{1,2}), \\ ce(\varphi, q_{1,2}) \rightarrow se(\varphi, q_{1,2}), ce'(\varphi, q_{1,2}) \rightarrow se'(\varphi, q_{1,2}), \end{cases} \quad (7)$$

где $Se(\xi_0, q_{1,2}), Se'(\xi_0, q_{1,2})$ – нечетные присоединенные (модифицированные) функции Матье I-го рода (с целым индексом) и их производные, $se(\varphi, q_{1,2}), se'(\varphi, q_{1,2})$ – нечетные обыкновенные функции Матье I-го рода целого порядка m и их производные.

Заключение

На основе впервые полученных дисперсионных уравнений можно получить графики зависимостей постоянных распространения от напряженности подмагничивающего магнитного поля для гиротропной эллиптической области с бесконечно проводящими стенками при продольном намагничивании. Полученные результаты имеют большой практический интерес.

Литература

1. Микаэлян А.Л. Теория и применение ферритов на сверхвысоких частотах. – Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 664 с.
2. Гуревич А.Г., Мелков Г.А. Магнитные колебания и волны. – М.: Физматлит, 1994. – 464 с.
3. Лакс Б., Баттон К. Сверхвысокочастотные ферриты и ферримагнетики: пер. с англ. – М.: Мир, 1965. – 676 с.
4. Гончаров А.М., Карпенко В.А. Основы теории оптических волноводов. – Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 240 с.

5. Итигилов Г.Б., Ширапов Д.Ш. Метод инвариантных преобразований для определения поперечных компонент электромагнитного поля в гиротропных ограниченных областях // Вестник Бурятского государственного университета. – 2012. – Вып. 9: Математика, информатика. – С.162-166.

6. Итигилов Г.Б., Ширапов Д.Ш. Волновые уравнения электромагнитных волн в ограниченных областях с ферритовым заполнением с ортогональной формой поперечного сечения при продольном намагничивании // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – 2012. – № 3(38). – С. 5-10.

7. Сул Г., Уокер Л. Вопросы волноводного распространения электромагнитных волн в гиротропных средах: пер. с англ. / под ред. Г.М. Мироманова: Изд-во иностранной литературы, 1955. – 192 с.

8. Мак-Лахлан Н.В. Теория и приложение функций Матъе / пер. с англ. В.А. Братановского. М.: Изд-во иностранной литературы, 1953. – 475 с.

Итигилов Гарма Борисович, старший преподаватель кафедры «Электронные вычислительные системы» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, тел. 8-3012-21-53-14, адрес: 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В. E-mail: Gablz@mail.ru

Ширапов Дашадондок Шагдарович, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой «Электронные вычислительные системы» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, тел. 8-3012-21-53-14, адрес: 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В. E-mail: shir48@mail.ru

Itigilov Garma Borisovich, senior teacher, department of electronic computer systems, East Siberian State University of Technology and Management, phone, 8-3012-21-53-14, address: 670013, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Klyuchevskaya 40V st., department of electronic computing systems. E-mail: Gablz@mail.ru

Shirapov Dashadondok Shagdarovich, doctor of physical and mathematical sciences, professor, head of the department of electronic computer systems, East Siberian State University of Technology and Management, phone, 8-3012-21-53-14, address: 670013, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Klyuchevskaya 40V St., department of electronic computing systems. E-mail: shir48@mail.ru

УДК 621.395

© Г.В. Попков, А.К. Леваков

ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ СЕТЕЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ЧС

В данной статье рассматриваются вопросы надежного функционирования сетей связи в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций. Даются общие постановки задач и определение теории S-гиперсетей, которая позволяет моделировать процессы, происходящие в сетях в условиях чрезвычайных ситуаций, приведены алгоритмы, позволяющие рассчитывать оптимальную перестройку сети с наименьшими потерями в случае частичного разрушения узлов сети. Рассмотрены решения частных задач.

Ключевые слова: надежность сети связи, S-гиперсеть, оптимизация, живучесть сетей связи.

© G. V. Popkov, A. K. Levakov

PROBLEMS OF OPTIMIZATION OF STRUCTURAL RELIABILITY AND SURVIVABILITY OF COMMUNICATION NETWORKS

In this article the issues of reliable functioning of communication networks in the conditions of arising the emergency situations are considered. The general statements of problems and definition of the theory of S-hyper networks are given. This mathematical apparatus allows to model the processes happening in networks in the conditions of emergency situations, algorithms allowing to calculate optimum reorganization of network with the smallest losses in case of partial destruction of network knots are given. Solutions of particular problems are considered.

Keywords: reliability of communication network, S-hyper network, optimization, survivability of communication networks.

1. Введение

Рассмотрим содержательную постановку задачи поддержки работоспособности сети связи при чрезвычайных ситуациях (ЧС). Предположим, что при некоторых ЧС отказы в сети связи обусловлены потерей внешнего питания на длительный период времени $T_{ЧС}$ [1]. При возникновении ЧС подобного рода могут *совсем не нарушаться* кабельные линии. В результате моделью сети связи становится граф первичной (транспортной) сети с относительно *надежными ветвями* и *ненадежными вершинами*. Модель, в определенном смысле, становится "зеркальной" по

отношению к классической гипотезе об *абсолютной надежности* вершин графа и *низкой надежности* его ветвей, рассмотренной ниже.

Значения степеней вершин графа вторичной сети обычно заметно различаются, меняясь от 1 до N . Запас узлов коммутации связи (в модели они представляются как вершины гиперсети) у СУСа связи ограничен k мобильными комплексами. Стратегия восстановления сети связи заключается в том, что мобильные комплексы должны заменять отказавшие узлы коммутации с как можно большей степенью, так, чтобы при этом граф вторичной (коммутируемой) сети оставался связным.

По всей видимости, критерием использования k мобильных комплексов должно быть восстановление связности (в лучшем случае) или максимизация количества вершин "нового" графа вторичной сети.

Некоторые ЧС приводят к отказу нескольких линий связи. С точки зрения модели работающей сети связи в виде графа вторичной сети $G_{вс}$ ребра b_{ij} инцидентные соответствующие удаленным ветвям $\{v_r\}$ первичной сети G_{ps} , также удаляются. В результате формируется граф вторичной сети $G_{чс}$. Для этой задачи предполагается, что все узлы коммутации абсолютно надежны, то есть все вершины a_i графа $G_{вс}$ после наступления ЧС сохраняются в составе графа $G_{чс}$.

Для обмена информацией в сети, моделью *которой до ликвидации последствий ЧС* становится граф вторичной сети $G_{чс}$, необходимым условием можно считать наличие остонового дерева.

Ниже рассмотрим задачу построения оптимального алгоритма восстановления работоспособности сети связи с использованием k мобильных комплексов, в которой ненадежными являются ветви первичной сети (следовательно, инцидентные им ребра вторичной сети) и вершины первичной сети.

При анализе и оптимизации живучести предусматривается возможность выхода из строя любых элементов, даже технически практически абсолютно надежных. Такие разрушения могут быть следствием как природных и техногенных катастроф, так и целенаправленных разрушающих воздействий, в том числе и информационных.

Ниже представлена модель, позволяющая в интерактивном режиме, на основе гиперсетевой модели, одновременно рассматривать первичную и вторичную сети, оптимизировать структурную живучесть сети.

2. Гиперсетевая модель для анализа и синтеза живучих сетей связи при ЧС

2.1. Модель оптимизации живучести сети

Рассмотрим модель, основанную на использовании алгоритмического аппарата гиперсетей и предназначенная для оптимизации живучести

сети в условиях возможности выхода из строя заданных множеств элементов при ЧС [2].

1. Элементы сетей:

пункты связи: сетевой узел, сетевая станция, узел связи, оконечная станция (пункт), узел коммутации и т.п.;

линии сетей связи: линия передачи, соединительная линия, канал связи, канал вторичной сети и т.д.

2. Структуры сетей:

первичной сети - конфигурация сетки линий передачи или соединительных линий;

вторичной сети - конфигурация сетки пучков каналов вторичной сети или каналов связи;

сети связи – конфигурация первичной сети и всех вторичных сетей, рассмотренные совместно.

3. Технология обслуживания.

В технологию обслуживания сетей связи включают коммутацию каналов и пакетов с различными способами управления; кроссировку каналов для различных целей; передачу информации при различных требованиях и ограничениях.

4. Внешние воздействия:

- поток заявок между корреспондирующими парами;

- поток освобождений (поток, характеризующий окончания передачи информации);

- поток отказов элементов – выходят из строя элементы сетей (в основном первичной сети);

- поток восстановлений элементов (восстановление отказавшихся элементов и создание новых).

5. Критерии эффективности функционирования сети.

Обычно к исследуемой сети предъявляется множество нормативов, требований и ограничений. Эти условия, исходя из которых принимается решение об эффективности системы, составляют в совокупности критерии оптимизации (эффективности).

Критерии – это условия, в соответствии с которыми принимаются решения относительно эффективности. В качестве критериев эффективности рассматриваются: экономические, качества и надежности передачи, живучести и, в частности, живучести при ЧС. Часто возникает проблема многокритериальной оптимизации сетей связи. В этом случае оценка сети по разным критериям не дает однозначного ответа об оптимальности сети.

Цели функционирования такой сетевой структуры можно формализовать в виде оптимизационной задачи общего вида, в соответствии с которой и разрабатывается технология ее решения. Если определены цели функционирования сетевой структуры, то встает вопрос оценки качества функционирования, которое осуществляется с помощью показателей эффективности – числовых характеристик.

6. Требования и ограничения.

При анализе и синтезе конкретных типов сетей связи возникают различные требования и ограничения, связанные с физическими характеристиками сетей и условиями эксплуатации.

2.2. Формальное описание структур сетей связи

Граф как математическая модель структуры сети не всегда определяет ее адекватно, поэтому при анализе сетей кроме методов теории графов пользуются различными эмпирическими приемами исследования структур этих сетей. В частности, активно применяются теории гиперграфов и гиперсетей [3].

Первичные сети

Структура первичной сети естественным образом может быть задана графом $G=(X, V)$, где $X=(x_1, \dots, x_n)$ – множество вершин, а $V=(v_1, \dots, v_m)$ – множество ветвей. Каждому сетевому узлу первичной сети будет соответствовать вершина графа G , а каждой соединительной линии – ветвь графа G . Характеристики элементов первичной сети в этом случае соответствуют параметрам соответствующих вершин и ветвей графа G .

Вторичные сети

Структура вторичной сети, если не рассматривать ее реализацию на первичной, также хорошо моделируется графом $L=(Y, R)$, где $Y=(y_1, \dots, y_p)$ – множество вершин, а $R=(r_1, \dots, r_q)$ – множество ребер графа L .

Каждому узлу связи (коммутируемому или некоммутируемому) вторичной сети соответствуют вершины графа L , а каждому каналу (или пучку каналов) вторичной сети соответствует ребро графа L . Характеристики элементов вторичной сети при этом соответствуют параметрам вершин и ребер графа L .

Гиперсети

Гиперсетью S называется шестерка $S=(X, V, R; P, F, W)$, состоящая из следующих объектов:

$X = (x, x, \dots, x)$ – множество вершин;

$V = (v, v, \dots, v)$ – множество ветвей;

$R = (r, r, \dots, r)$ – множество ребер;

$P: V \rightarrow 2^X$ – отображение, сопоставляющее каждому элементу $v \in V$ множество $P(v) \subseteq X$ его вершин. Тем самым отображение P определяет гиперграф $PS = (X, V)$;

$F: R \rightarrow 2^V$ – отображение, сопоставляющее каждому элементу $r \in R$ множество $F(r) \subseteq V$ его ветвей. Отображение F определяет гиперграф $FS=(V, R)$;

$W: R \rightarrow 2^X$ – отображение, сопоставляющее каждому элементу $r \in R$ множество $W(r)$ его вершин. Отображение определяет гиперграф $WS = (X, R)$.

Вершина $x \in X$ инцидентна ветви $v \in V$ и ребру $r \in R$, если $x \in P(v)$ и $x \in W(r)$. Ветвь $v \in V$ инцидентна ребру $r \in R$, если $v \in F(r)$.

Так как множество $F(r)$ является маршрутом, то отображение F единственным образом определяет отображение W . Действительно, конечные вершины маршрута $F(r)$ являются одновременно концами ребра r , т.е. гиперсеть S можно задать пятеркой $(X, V, R; P, F)$.

Сеть связи

Вторичная сеть связи строится на основе первичной сети связи. Именно технические средства первичной сети (в первую очередь линии связи, каналообразующая аппаратура и устройства кроссировки) обеспечивают организацию каналов вторичной сети. Узлы связи вторичных сетей обычно не относятся к первичным сетям.

Из определения гиперсети следует, что граф первичной $G=(X, V)$ – сети связи соответствует первичной сети $PS=(X, V)$ гиперсети $S=(X, V, R)$, а граф вторичной $L=(Y, R)$ – вторичной сети $WS=(X, R)$ гиперсети S . Взаимодействие этих сетей определяется гиперграфом $FS=(V, R)$, т.е. ветвь $v \in V$ инцидентна ребру $r \in R$ тогда и только тогда, когда соответствующий r канал вторичной сети проходит (реализован) по линии передачи первичной сети соответствующей ветви v . Таким образом, структура сети связи полностью задана гиперсетью [3].

2.3. Основные свойства живучести сетей связи.

Наиболее общим свойством системы связи, отражающим влияние всех факторов, приводящих к отказам системы, является устойчивость [2].

Устойчивость – свойство системы связи, заключающееся в ее способности осуществлять своевременную передачу информации в необходимом объеме и с качеством не хуже заданного при определенных условиях функционирования.

В зависимости от условий функционирования можно явным образом выделить три частных свойства.

- Надежность (аппаратная) – устойчивость системы связи к эксплуатационно-техническим отказам аппаратуры.
- Аппаратная надежность включает в себя ряд свойств, основными из них являются: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, безопасность и др.
- Помехоустойчивость – устойчивость системы связи к случайным или преднамеренным помехам.

Помехоустойчивость также включает в себя ряд частных свойств, характеризующих поведение системы в условиях помех.

Живучесть – способность системы выполнять установленный минимальный объем своих функций при внешних воздействиях, не предусмотренных условиями нормальной эксплуатации, противостоять таким воздействиям, осуществлять выбор оптимального режима функционирования за счет собственных внутренних ресурсов, перестройки структуры, изменения функций отдельных подсистем и их поведения [3].

Структурная живучесть – живучесть (выживаемость) системы связи в течение некоторого времени при пассивном противодействии повреждениям (случайным или целенаправленным) элементов сети.

Пассивное противодействие осуществляется при нормальном режиме работы системы связи за счет защищенности элементов, включенного резерва, структурной организации и принятого алгоритма управления маршрутизацией.

Выживаемость элементов – структурная живучесть элементов (узлов, линий и т.п.) системы связи.

Структурная надежность – структурная живучесть системы связи при заданном алгоритме (процессе) разрушения элементов.

Функциональная живучесть – живучесть (выживаемость) системы связи в течение некоторого времени при активном противодействии повреждениям (случайным или целенаправленным) элементов сети.

Активное противодействие в основном осуществляется во время действия разрушающих факторов и определяется системами восстановления элементов и управления на сетях связи.

Восстанавливаемость элементов – функциональная живучесть элементов (узлов, линий и т.п.) системы связи.

Функциональная надежность – функциональная живучесть системы связи при заданном алгоритме (процессе) разрушения элементов сети.

Работоспособность сети (элемента) – сеть связи (элемент системы связи) работоспособна, если она способна выполнять все или заданную часть функций в полном или частичном объеме.

Критерием выживаемости элементов могут являться:

- время, при котором элемент остается работоспособным с начала его разрушения заданными способами и средствами;

- количественная мера определенных средств разрушения, не нарушающих работоспособность элемента.

В качестве средств разрушения могут быть естественные (землетрясение, наводнение, пожар и др.) и искусственные (ракетно-ядерный удар и др.) факторы.

Некоторые из этих факторов воздействуют на элемент сети случайно, другие – детерминировано.

За критерий восстанавливаемости элементов можно принимать:

- время, за которое может быть восстановлена работоспособность элемента при заданном уровне резервирования и системы техобслуживания;

- количественная мера определенных ресурсов, восстанавливающих работоспособность элементов при заданной степени разрушения.

К ресурсам восстановления можно отнести: резервы элементов сети в целом, отдельных блоков аппаратуры связи для ремонта элементов, количество людей, предназначенных для восстановления, наличие предприятий, изготавливающих новые элементы и т.д.

Критерием структурной надежности является число k отказавших элементов, не нарушающих работоспособность сети связи; т.е. при отказе любых k элементов сети связи заданная часть абонентов сети из выделенных пунктов связи (возможно, всех) будет соединена связующей системой (коммуникацией).

Содержательная постановка задачи

Целью данной статьи является рассмотрение системы моделирования сетей с заданными характеристиками, позволяющей делать анализ живучести спроектированных сетей и выбор (по различным критериям) наиболее оптимальных из них.

Считаем, что входные данные сети – это:

- 1) матрица смежности первичной сети A ;
- 2) матрица смежности вторичной сети B ;
- 3) характеристики узлов (вершин графа): номер, вероятность разрушения, стоимость разрушения, стоимость восстановления, пропускная способность;
- 4) характеристики линий связи (ребра графа первичной сети): пропускная способность, вероятность разрушения, стоимость восстановления, стоимость разрушения;
- 5) множество путей, образующих ребра во вторичной сети;
- 6) N и M – ограниченные ресурсы (M – СУС, N – ЧС).

Система работает в диалоговом режиме "СУС – ЧС" (здесь СУС и ЧС являются либо частью программного обеспечения, либо специалисты, принимающие решения за систему управления сетью (СУС) и за последствия после чрезвычайных ситуаций (ЧС)).

ЧС, имея ограниченный ресурс (первоначально – N), удаляет один или несколько элементов первичной сети. Считаем, что она всегда уничтожает элемент полностью и расходует ресурс на полную стоимость разрушения элемента при любой вероятности его разрушения. При разрушении узла также уничтожаются все инцидентные ему ребра (линии связи). ЧС выбирает разрушаемые объекты по следующим критериям:

- вероятности разрушения элементов;
- по стоимости разрушения;
- произвольно.

Считаем, что ЧС обладает всей информацией о сети, т.е. любая часть сети может быть разрушена или выведена из строя на некоторое время. СУС, также обладая ограниченным ресурсом (первоначально – M) и стремясь к оптимальности построения новой первичной сети, может восстанавливать разрушенные элементы и строить новые линии связи со своими характеристиками. На первом шаге он исследует возможность вложения вторичной сети в первичную без восстановления разрушенных элементов. Если такой возможности нет, то, руководствуясь одним из критериев оптимизации (либо по стоимости, либо по структурной надежности), СУС строит новые линии связи или восстанавливает разрушенные элементы.

После каждого разрушения или восстановления элементов из оставшихся к данному моменту ресурсов (первоначально – N и M) вычитаются их стоимости разрушения или восстановления соответственно. Процесс заканчивается либо после очередного шага СУС, либо когда заканчивается хотя бы один из ресурсов. Результатом моделирования является сеть, спроектированная на некотором шаге и удовлетворяющая одному (выбранному исследователями) из критериев эффективности: вероятность разрушения самого ненадежного разреза сети минимальна; сеть является самой экономичной.

2.4. Математическая постановка задачи

Пусть заданы:

граф первичной сети $G = (V, E)$, $|V| = n$, $|E| = m$;

матрица смежности первичной сети A;

матрица смежности вторичной сети B;

матрица пропускной способности линий связи W;

матрица стоимости восстановления линий связи P;

матрица стоимости разрушения линий связи Q;

матрица стоимости прокладки каналов F;

матрица надежности линий связи T;

пути, образующие ребра во вторичной сети;

ресурсы N и M.

Первичная и вторичная сети не могут содержать петель. Учитывая входные данные, требуется построить схему пошаговой перестройки структуры первичной сети и перераспределения потока в ней, руководствуясь одним из следующих критериев:

$$1. \sum_{(i,j) \in E' \cup E} p_{ij} \rightarrow \min_{E' \subset \mathfrak{Z}} - \text{минимальной стоимости восстановления}$$

первичной сети,

где \mathfrak{Z} – совокупность множеств линий связи возможных первичных сетей, удовлетворяющих условиям задачи;

E' – множество линий связи первичной сети из \mathfrak{Z} .

$$2. \prod_{(i,j) \in E'} t_{ij} \rightarrow \max_{E' \subset \mathfrak{Z}} - \text{максимальной надежности первичной сети.}$$

Моделирование должно происходить в диалоговом пошаговом режиме, где поочередно:

1) по одному из критериев оптимальности разрушения удаляются элементы первичной сети;

2) по одному из критериев оптимальности построения восстанавливается первичная сеть.

После каждого разрушения или восстановления элементов из оставшихся к данному моменту ресурсов (первоначально N и M) вычитаются их стоимости разрушения или восстановления соответственно (прокладка канала учитывается). Процесс моделирования заканчивается либо после очередного шага СУС, либо когда

заканчивается хотя бы один из ресурсов (восстановления – М или разрушения – N).

Результатом моделирования является сеть, спроектированная на некотором шаге и удовлетворяющая одному из критериев эффективности: самая надежная сеть; самая дешевая сеть.

2.4.1. Входные данные

1. Граф первичной сети $G = (V, E)$, $|V| = n$, $|E| = m$.

2. Матрица смежности первичной сети A .

3. Матрица смежности вторичной сети B :

$$B = \{b_{ij}\} = \begin{cases} 1, & \text{если узлы } i \text{ и } j \text{ смежны,} \\ \text{либо (при } i = j \text{) этот узел существует во вторичной сети;} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

4. Матрица пропускной способности каналов W :

$$W = \{w_{ij}\} = \begin{cases} k, & k > 0, k \in Z - \text{ пропускная способность } (i, j) - \text{ линии связи;} \\ 0, & \text{если линию связи проложить нельзя.} \end{cases}$$

5. Матрица стоимости восстановления P :

$$P = \{p_{ij}\} = \begin{cases} k, & k > 0, k \in R - \text{ стоимость восстановления} \\ (i, j) - \text{ линии связи, либо (при } i = j \text{) } i\text{-ого узла;} \\ 0, & \text{если линию связи проложить нельзя.} \end{cases}$$

6. Матрица стоимости разрушения Q :

$$Q = \{q_{ij}\} = \begin{cases} k, & k > 0, k \in R - \text{ стоимость разрушения} \\ (i, j) - \text{ линии связи, либо (при } i = j \text{) } i\text{-ого узла;} \\ 0, & \text{если линию связи проложить нельзя.} \end{cases}$$

7. Матрица надежности T :

$$T = \{t_{ij}\} = \begin{cases} k, & k \in [0,1] - \text{ надежность } (i, j) - \text{ линии связи,} \\ \text{либо (при } i = j \text{) } i\text{-ого узла;} \\ 0, & \text{если линию связи проложить нельзя.} \end{cases}$$

8. Матрица стоимости прокладки каналов F :

$$F = \{f_{ij}\} = \begin{cases} k, & k > 0, k \in R - \text{ стоимость прокладки} \\ \text{канала по } (i, j) - \text{ линии связи;} \\ 0, & \text{если линию связи проложить нельзя, либо (при } i = j \text{).} \end{cases}$$

9. Список путей первичной сети FIRST.

10. Ресурсы N и M.

2.4.2. Решение задачи анализа и синтеза сетей

Рассмотрим схему перестройки сети и перераспределения потока в ней. Условимся, что новые узлы строить нельзя и перераспределить поток

намного экономичнее, чем построить новую линию связи. Введем вспомогательные матрицы, необходимые при восстановлении разрушенных первичных сетей:

$$L1 = \{l_{ij}\} = \begin{cases} k, & k > 0, k \in Z - \text{если в } (i, j) - \text{линии связи в данный момент} \\ & \text{времени передача данных происходит по } k \text{ каналам;} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

$$D = \{d_{ij}\} = \begin{cases} k, & k > 0, k \in Z - \text{если в } (i, j) - \text{линии связи в данный момент времени} \\ & \text{существует } k \text{ каналов, по} \\ & \text{которым передача информации не происходит;} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

$$L = \{l_{ij}\} = \begin{cases} 1, & \text{если по } (i, j) - \text{линии связи проходит полный поток,} \\ & \text{либо если ее проложить нельзя;} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

На первом шаге возникновения ЧС выбираем либо самый ненадежный разрез (алгоритм 1); либо самые дешевые по разрушению линии связи (линии связи) или узел (узлы, матрица Q); либо произвольные линии связи и узлы. Считаем, что разрушение произошло. После этого:

- из N вычитается стоимость разрушенных элементов первичной сети: N - Σ q_{ij};

- пересчитываются: матрица смежности A, на месте разрушенных (i,j)-элементов ставится 0;

- матрица текущего распределения потока в первичной сети L1, l_{ij} = l_{ij} - k, если разрушено k путей, проходящих по (i,j)-линии связи, l_{ij} = 0, если линия связи разрушена.

- матрица запрещенных элементов L – на месте разрушенных (i,j)-элементов ставится 1.

- матрица свободных проложенных каналов D, d_{ij} = d_{ij} + k, если разрушено k путей, проходящих по (i,j)- линии связи, d_{ij} = 0, если линия связи разрушена.

- в список РР (разрушенные ребра) заносятся все ребра вторичной сети, которые были подвержены разрушению.

На втором шаге СУС выясняет: какие линии связи и узлы первичной сети были разрушены; какие узлы необходимо восстановить; можно ли проложить каналы по оставшимся линиям связи, чтобы перестроить испорченные пути; если нет, то что лучше: восстановить разрушенные элементы первичной сети или проложить новые.

Сначала по матрице В восстанавливаются все разрушенные не транзитные узлы и пересчитываются матрицы A и L. Затем пошагово

осуществляется восстановление ребер вторичной сети. По списку РР определяется очередной путь первичной сети, который нужно перераспределить.

По матрице L и алгоритму 2 находятся все цепи между узлами его конца и начала. Если цепи между i и j существуют, то СУС, ориентируясь на один из критериев оптимальности, выбирает наилучшую из них:

- по стоимости прокладки каналов:

$$\sum_{(i,j) \in \gamma} f_{ij} \rightarrow \min_{\gamma \in C}, \text{ при } d_{ij} = 0,$$

где d_{ij} – число существующих свободных каналов;

- по надежности цепи: $\prod_{(i,j) \in \gamma} t_{ij} \rightarrow \max_{\gamma \in C}$;

где C – множество всех найденных цепей, γ – цепь из C.

Если нет возможности проложить ребро вторичной сети по имеющимся линиям связи первичной сети, то СУС, опираясь на один из критериев оптимальности, выясняет, какие добавить линии связи и узлы в первичную сеть, чтобы узлы i и j были достижимы.

Оптимизация происходит:

1. По стоимости линий связи и узлов, которые нужно проложить. Используя матрицу L, по алгоритму 2 исследователь находит все возможные пути прокладки ребра вторичной сети. Пусть C – множество всех таких цепей. Затем он подсчитывает стоимость каждой цепи и вычитает стоимость уже проложенных линий связи и узлов. Новые элементы выбираются, опираясь на целевую функцию:

$$\sum_{(i,j) \in \gamma} p_{ij} \rightarrow \min_{\gamma \in C}, \text{ где } a_{ij} = 0;$$

2. По надежности (i, j) цепи (снова по матрице L и алгоритму 1 находятся все цепи и их надежность).

В результате оптимального по некоторому критерию восстановления элементов вторичной сети СУС либо восстанавливает разрушенные элементы, либо прокладывает новые.

После восстановления очередного ребра вторичной сети пересчитываются:

- матрица смежности A, на месте восстановленных (i, j)-элементов ставится 1;

- матрица текущего состояния потока в первичной сети L1: $l_{ij} = l_{ij} + 1$, если (i,j) – линия связи принадлежит выбранной цепи;

- существующих свободных каналов в первичной сети D: $d_{ij} = d_{ij} - 1$, если (i,j) – линия связи принадлежит выбранной цепи и $d_{ij} > 0$.

- запрещенных ребер L: $l_{ij} = 1$, если по (i,j) – линии связи проходит полный поток, т.е. $k_{ij} = w_{ij}$.

Из оставшегося ресурса СУС вычитается стоимость восстановления элементов и прокладки новых каналов. После того как вторичная сеть полностью восстановлена, новая спроектированная первичная сеть и ее

характеристики стоимости и надежности запоминаются в списке Ω и после следующего шага разрушения, в Ω запоминается цена этого разрушения.

Моделирование заканчивается либо после очередного шага СУС, либо когда закончился хотя бы один ресурс. Результатом моделирования является сеть, спроектированная на некотором шаге и удовлетворяющая одному (выбранному исследователями) из критериев эффективности: самая надежная сеть; самая экономичная сеть.

Для успешного моделирования сети в режиме чрезвычайных ситуаций необходимо уметь находить наименее надежный обобщенный (удаление вершин и ребер) разрез и все (s,t) -цепи в графе, не содержащие запрещенные элементы. Эти алгоритмы можно найти в [4,5].

3. Заключение

В результате данного подхода может быть построена математическая модель, позволяющая оценивать параметры стоимости, надежности и живучести сети, делать анализ сети связи при разрушении структуры ее первичной сети и, учитывая один из критериев оптимальности, предлагать вариант новой первичной сети с более качественными характеристиками.

Предложенная модель позволяет также оценивать такие свойства живучести сети связи, как структурная надежность и функциональная надежность. Функциональную надежность можно оценивать, варьируя ресурсы сети.

Сеть является надежной (функционально), если в течение некоторого времени она не утратит способность восстанавливаться при ее систематическом разрушении. Структурная надежность оценивается на каждом шаге моделирования способностью восстанавливаться с ограниченными затратами СУС. Результатом игры является сеть, полученная на некотором шаге моделирования и выбранная исследователями по некоторому критерию эффективности.

В работе используются алгоритмы для нахождения наименее надежного разреза и поиска всех цепей между заданными вершинами. Обе задачи являются NP-трудными и не имеют эффективных алгоритмов. Однако время работы алгоритмов зачастую намного меньше, чем формальная оценка, так как чаще всего используются структуры неполных графов. Данная модель предлагает лишь минимальный выбор критериев, как для ЧС, так и СУС; однако в дальнейшем она может быть существенно дополнена и усложнена.

Литература

1. Леваков А.К. Особенности функционирования сети следующего поколения в чрезвычайных ситуациях. – М.: ИРИАС, 2012. – 108 с.
2. Попков В.К. Математические модели живучести сетей связи. – Новосибирск: Изд-во ВЦ СО АН СССР, 1990. – 235 с.

3. Попков В.К. Математические модели связности. – Новосибирск: Изд-во ИВМиМГ СО РАН, 2006. – 490 с.

4. Попков Г.В. Об организации бесперебойной сети для передачи коротких сообщений в случае ЧС // Программные системы. – 2012. – № 4. – С. 206-211.

5. Попков Г.В. О задачах устойчивости сети следующего поколения в чрезвычайных ситуациях // Телекоммуникации. – 2013. – №3. – С. 28-38.

Попков Глеб Владимирович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, моб. тел. 89134789130, e-mail: glebpopkov@rambler.ru

Леваков Андрей Кимович, кандидат технических наук, заместитель технического директора по эксплуатации макрорегионального филиала «Центр» ОАО «Ростелеком», тел.: +7(495)793-29-36, e-mail: a.levakov@center.rt.ru

Popkov Gleb Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor, senior researcher, Institute of Mathematics and mathematical Geophysics SB RAS.

Levakov Andrey Kimovich, candidate of technical sciences, deputy technical director for operation macroregional branch ‘Centre’ OJSC ‘Rostelekom’.

УДК 004.73

© *Р.Р. Фаткеева*

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТОВ ДОБЕШИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ СЕТЕВОГО ТРАФИКА

В статье представлен подход к обнаружению DDoS-атак, основанный на применении вейвлет-разложения для анализа сетевого трафика при воздействии на него различных аномальных явлений. Показана возможность идентификации DDoS-атаки при увеличении легитимного трафика на основании изменения усредняющих коэффициентов.

Ключевые слова: информационная безопасность, распределенный отказ в обслуживании, сетевой трафик.

© *R.R. Fatkueva*

APPLICATION OF DAUBECHIES WAVELETS FOR NETWORK TRAFFIC ANOMALIES DETECTION

An approach to DDoS attacks detection based on wavelet analysis of users' traffic under influence of various anomaly phenomena is presented in the paper. Capability of DDoS attack identification at legitimate traffic growth on the basis of averaging coefficients' variations is demonstrated.

Keywords: information security, distributed denial in service, network traffic.

Введение

Распределенные атаки типа DDoS отличаются наличием множества участников (агентов), действующих из разных участков сети с помощью заранее подготовленного программного обеспечения. Выявление атакующих агентов до начала и во время атаки затруднительно, так как новые участники могут вводиться по мере прекращения доступа к системе уже введенных. Проблема усугубляется тем, что по составу трафика такие атаки могут быть почти неотличимы от легитимной нагрузки [1]. При повышении легитимной нагрузки вероятность срабатывания средств защиты увеличивается, что приводит к ложным срабатываниям и невозможности доступа легитимных пользователей. С другой стороны, атаки по результату можно разделить на деградационные, разрушительные, перманентные, и несвоевременное вмешательство может повлечь полный выход из строя или увеличить восстановление сервиса. В связи с этим возникает проблема отличия возрастающего легитимного трафика от эффективно спланированной DDoS-атаки.

1. Вейвлет-разложение сетевого трафика

Для исследования сетевого трафика с учетом его хаотичного характера на мелком масштабе возможно использование вейвлетов семейства До-

беши [2], которые характеризуются большим числом исчезающих моментов (большее число исчезающих моментов позволяет описывать функции полиномиального характера большего порядка) при минимальном размере носителя, что в некоторой степени подходит для анализа сетевого трафика. Зачастую средняя нагрузка на обслуживаемую систему за небольшой отдельно взятый промежуток времени не является постоянной величиной. Например, нагрузка на веб-сервер, популярный в определенных часовых поясах, будет выше в дневное время. При этом числовые значения коэффициентов не зависят от положения аномалии в сигнале. Если атака состоит из периодических коротких всплесков (например, семантическая атака, расходующая ресурсы сервера за короткий интервал, но на долгий период), возникшая аномалия все равно будет присутствовать в коэффициентах разложения, которые напрямую зависят от амплитуд аномалий и являются более чувствительными к кратковременным изменениям, чем к долговременным. Рост легитимного трафика, в отличие от флуд-атак, имеет небольшую амплитуду и происходит на протяжении длительного времени, поэтому будет оказывать минимальное влияние на коэффициенты разложения.

Выявление DDoS-атак с помощью сравнения характеристик обычного сетевого трафика и трафика с атакой проводилось специализированной системой сбора и управления трафика, позволяющей контролировать характеристики трафика в реальном времени [3]. Легитимный трафик снимался в течение 15 минут, на протяжении которых выполнялось одновременно до 1000 запросов на соединение со случайными паузами по 1-5 секунд. Получено среднее значение аппроксимирующих коэффициентов, равное 1282103.79, и среднеквадратичное отклонение детализирующих коэффициентов 15928.93. Оценка отклонений в ситуации при резком росте нагрузки, вызванной наплывом клиентов, показала, что все детализирующие коэффициенты вейвлет-разложения лежат в небольшом интервале (рис. 1), а рост нагрузки влияет на усредняющие коэффициенты.

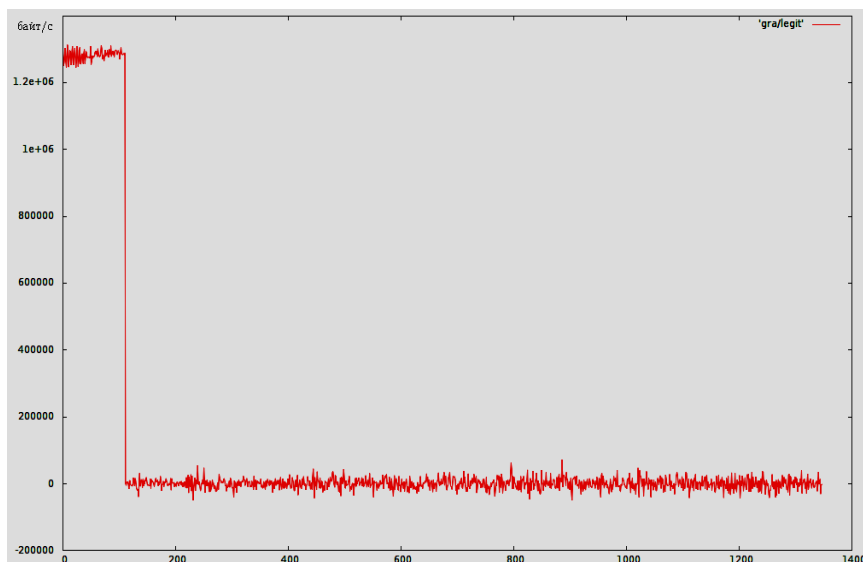


Рис. 1. Вейвлет-разложение легитимного сетевого трафика

Детализирующие коэффициенты, кроме самых крупномасштабных, мало затронуты, что подтверждается полученными средними значениями аппроксимирующих коэффициентов 2152818.52 и среднеквадратичными отклонениями детализирующих коэффициентов 27531.12.

При моделировании SYN-flood атаки регистрация трафика показала высокую амплитуду колебаний и увеличение среднего значения по сравнению с легитимным трафиком (рис. 2). В связи с наличием в трафике большого отклонения в небольшом окне происходит отклонение среди тех детализирующих коэффициентов разных масштабов, которые отвечают за этот временной участок (среднее значение аппроксимирующих коэффициентов 4506166.73 и среднеквадратичного отклонения детализирующих коэффициентов 349822.19).

3. Характеристики трафика с приростом нагрузки и наличием атаки

Рассмотрим предыдущую атаку на фоне зафиксированного ранее трафика с приростом нагрузки. В связи с тем, что цель атаки – стремление создать максимально большой поток данных, общее изменение амплитуды трафика значительно превышает легитимный рост трафика.

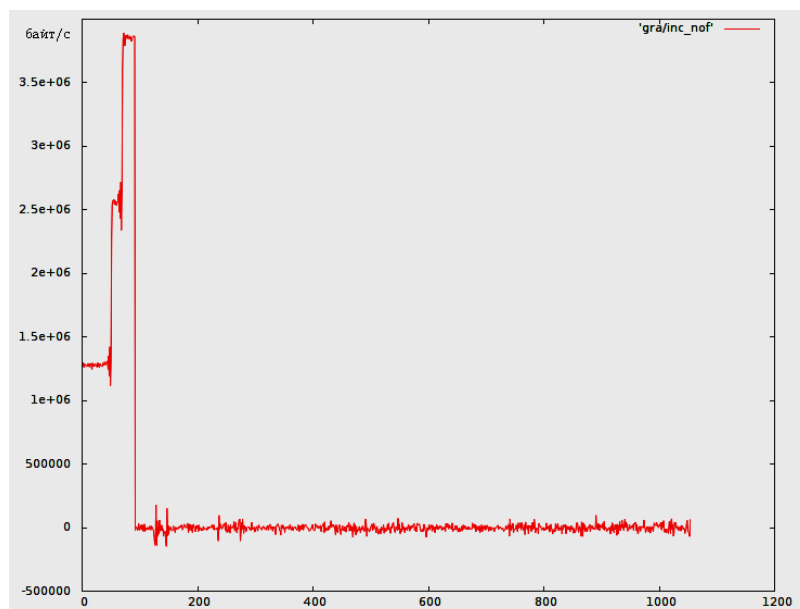


Рис. 2. Вейвлет-разложение трафика с резкими приростами нагрузки

При этом вейвлет-разложении SYN-флуд имеет более хаотичский характер, чем легитимный трафик, и большую амплитуду изменения трафика при маленьком временном окне, поэтому затронуты коэффициенты самых мелких масштабов (рис. 3, 4).

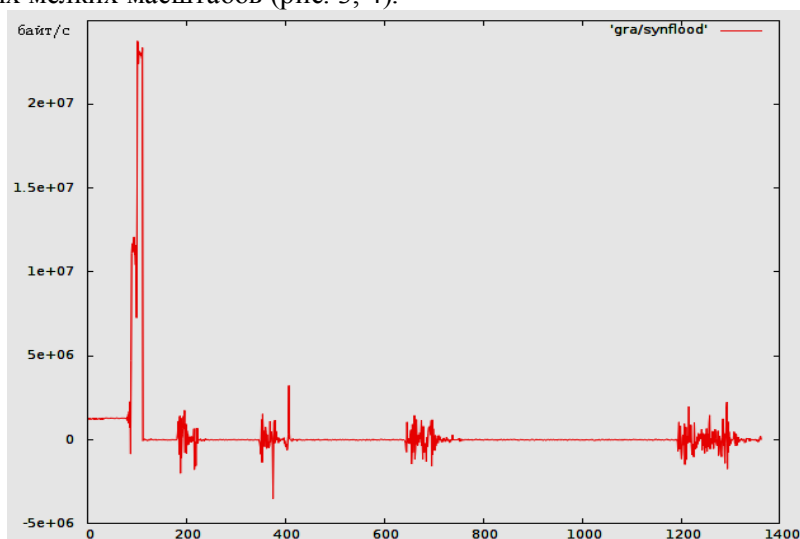


Рис. 3. Вейвлет-разложение SYN-флуд атаки

Получены средние значения аппроксимирующих коэффициентов 3611176.28 и среднеквадратичное отклонение детализирующих коэффициентов 196269.31.

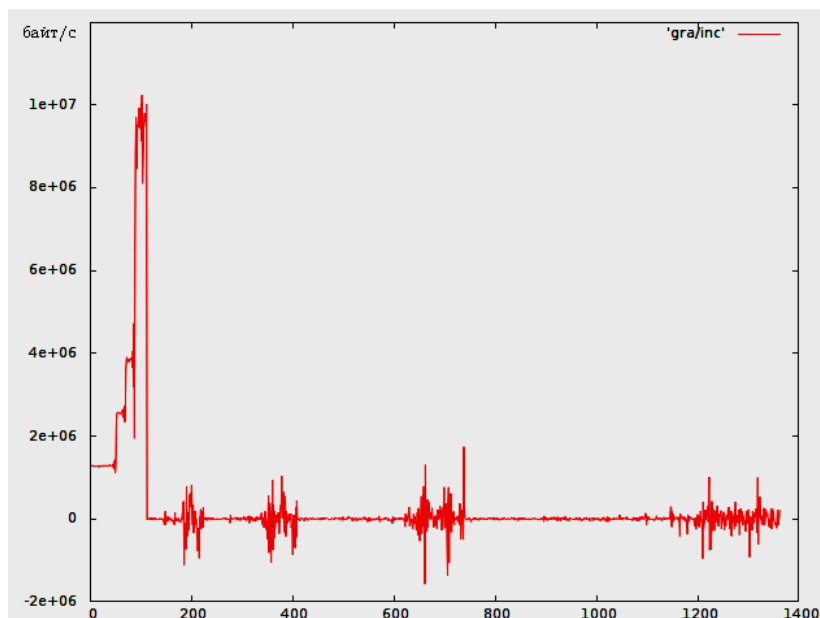


Рис. 4. Вейвлет-разложение SYN-флуд атаки на фоне растущего трафика

Рассмотрим влиянием атаки Slowloris на изменения детализирующих и аппроксимирующих коэффициентов. Атака Slowloris является полностью семантической атакой и почти не вызывает изменения в среднем значении трафика, что делает ее более сложной для выявления. Единственной крупной аномалией является полное исчезновение легитимного трафика, и это в значительной мере должно затруднить обнаружение этой атаки до ее полного успеха. Вейвлет-разложение для полученного трафика целиком и без учета момента начала полного исчезновения легитимного трафика показало, что атаку выдают два вида аномалий – рост нагрузки, вызванный быстрым установлением большого числа соединений, и почти полное исчезновение нагрузки после истощения таблицы соединений (рис. 5).

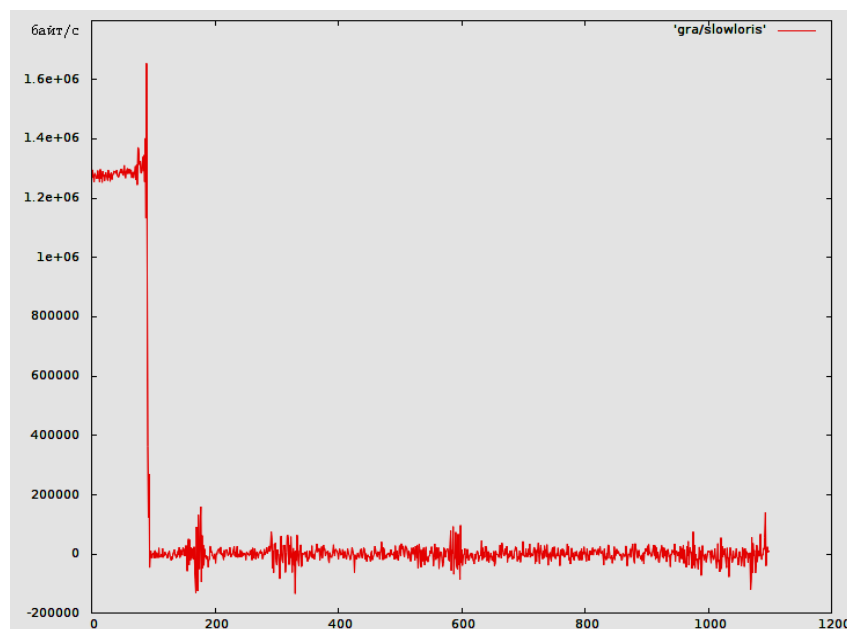


Рис. 5. Вейвлет-разложение атаки Slowloris

Анализ изменений характеристик вейвлет-разложения, в частности, изменений детализирующих коэффициентов разложения, показал возможность выявления аномалий в сетевом трафике (табл. 1). При уменьшении коэффициента отношения исходных данных и увеличении коэффициента отношения детализирующих данных, полученных в ходе применения вейвлет-анализа, можно предположить об аномальном поведении трафика и возможном проведении DoS- или DDoS-атаки.

Таблица 1

	Среднее значение усредняющих коэффициентов AVG	Среднеквадратичное отклонение детализирующих коэффициентов DEV	DEV/AVG
Нормальный трафик	1282103	15928	80.49
Рост нагрузки	2152818	27531	78.19
SYN-флуд	4506166	349822	12.88
Рост нагрузки и SYN-флуд	3611176	196269	18.39
Slowloris до сбоя	1285656	24582	52.30
Slowloris	1238529	25136	49.27

Заключение

Относительная простота вычислений делает вейвлет-разложение потенциальным инструментом для обнаружения DDoS-атак. Перспективы дальнейших исследований заключаются в определении набора оптималь-

ных базисных вейвлетов для обнаружения атак и интерпретации рассчитанных частотно-временных характеристик. Основным недостатком способа является невозможность исключить ложные срабатывания при аномальном росте нагрузки из-за необычных действий со стороны клиента. Остается открытым вопрос о пороговых значениях, в которых могут лежать коэффициенты разложения и их отношения, которые сильно зависят от способностей наблюдаемой системы и вида легитимной нагрузки.

Литература

1. Котенко И.В., Уланов А.В. Многоагентное моделирование распределенных атак «отказ в обслуживании» // Труды СПИИРАН. – СПб.: Наука, 2006. – Вып. 3, Т. 1. – С. 105-125.
2. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов: пер. с англ. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
3. Мишин К.Н., Фаткиева Р.Р. Природа сетевых аномалий и их полунатурное моделирование // Труды СПИИРАН. – 2007. – № 5. – С. 260-267.

Фаткиева Роза Равильевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории информационно-вычислительных систем Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-4369, факс +7(812) 328-4450, e-mail: rikki2@yandex.ru

Fatkieva Rosa Ravilievna, candidate of technical sciences, senior researcher, Laboratory of Computer and Information Systems, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-4369, fax +7(812)328-4450, e-mail: rikki2@yandex.ru.

УДК 621.391

© *М.В. Харинов*

КОЛИЧЕСТВО ИНФОРМАЦИИ В ПИКСЕЛЕ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В статье рассматривается проблема оценки количества информации в пикселе цифрового изображения. Дается определение целочисленной оценки посредством вычисления бинарной иерархии кластеров пикселей изображения. Рассматриваются способы построения иерархии кластеров и получения иерархической последовательности приближений изображения, оптимизированных по среднеквадратичному отклонению приближения от изображения. Приводятся экспериментальные результаты расчетов целочисленной оценки, которые сравниваются с результатами, полученными по классическим формулам.

Ключевые слова: количество информации, целочисленная оценка, иерархия кластеров пикселей, иерархическая последовательность разбиений, выпуклая последовательность.

© *M.V. Kharinov*

INFORMATION QUANTITY IN A PIXEL OF DIGITAL IMAGE

The article is devoted to the problem of estimating of information quantity in a pixel of digital image. The definition of an integer estimation of information quantity by means of binary hierarchy of pixel clusters is proposed. The methods of constructing the cluster hierarchies and generating the hierarchical sequences of image approximations, minimized in standard deviation of approximation from the image are considered. The experimental results on integer-valued estimation are compared with the results obtained by using classical formulas.

Keywords: quantity of information, integer-valued estimation, hierarchy of pixel clusters, hierarchical sequence of partitions, convex sequence.

Введение

При расчетах на компьютере множество пикселей цифрового изображения разбивают на кластеры, которыми служат связанные сегменты, наборы несмежных сегментов или иных подмножеств пикселей, и изображение описывают в терминах рассматриваемых структурных элементов. При этом помимо яркости характерным аддитивным признаком пикселя является количество информации, которую «содержит» данный пиксель. Одинаковым пикселям принято приписывать равное количество информации, оцениваемое по классическим формулам [1]. В оценке по Р. Хартли количество информации q_i в i -ом пикселе изображения одинаково для всех пикселей и выражается в битах как логарифм по основа-

нию 2 от числа градаций g :

$$q_i = \log_2 g, \quad (1)$$

а в оценке по К. Шеннону количество информации в i -ом пикселе изображения вычисляется логарифмированием частного от деления общего числа N пикселей на число n_i пикселей данной яркости:

$$q_i = \log_2 \frac{N}{n_i}. \quad (2)$$

Для множества пикселей, в частности множества пикселей изображения, количество информации Q вычисляется посредством сложения q_i :

$$Q = \sum_{i=1}^N q_i. \quad (3)$$

В обеих классических оценках (1) и (2) значения количества информации получаются вещественными, что нарушает понимание бита как минимальной единицы информации. В нашей стеганографической модели изображения как запоминающей среды [2, 3] указанной трудности интерпретации не возникает, так как, согласно модели, цифровое изображение порождает собственную «виртуальную» память, которая при встраивании и извлечении данных используется подобно памяти обычного компьютера. При этом количество информации определяется как максимальный объем встроенных данных, и оценка количества информации оказывается целочисленной. В настоящее время модель развивается в задаче оптимальной сегментации изображений [4, 5]. В рамках модели развивается и метод целочисленной оценки. Целью статьи является определение целочисленной оценки количества информации и ее сопоставление с классическими оценками.

1. Целочисленная оценка количества информации

На множестве пикселей изображения u построим бинарную иерархию кластеров $H(u)$, в которой для каждого неоднородного кластера определена операция разделения на два вложенных кластера с различной средней яркостью пикселей. При этом *однородными* называются кластеры из одинаковых пикселей, которые считаются неделимыми.

Сформулируем определение целочисленной оценки количества информации в пикселе изображения.

Определение. Количество бит информации в пикселе изображения отождествляется с числом неоднородных кластеров из бинарной иерархии $H(u)$, содержащих данный пиксель.

В простейшем случае однородные кластеры совпадают с множествами пикселей той или иной яркости. При этом если кластеры из иерархии $H(u)$ разделяются на вложенные кластеры, состоящие из одинакового числа однородных кластеров, то приведенное определение выражается оценкой по Р. Хартли (1). Если иерархия $H(u)$ такова, что каждый кла-

стер разделяется на вложенные кластеры с одинаковым числом пикселей, то оно выражается шенноновской оценкой (2).

Основной смысл определения состоит в непосредственном подсчете бинарных значений информации, которые при разделении неоднородных кластеров надвое можно последовательно «считывать» с пикселей, оказывающихся во вложенных кластерах с большей и меньшей средней яркостью.

2. Инвариантное представление изображения

В наглядной форме бинарная иерархия кластеров пикселей изображения $H(u)$ описывается в виде инвариантного представления изображения Hu . Инвариантное представление Hu является изображением, в котором множество кластеров $H(u)$ упаковано в иерархическую последовательность разбиений множества пикселей с минимальными повторениями однородных кластеров.

Инвариантное представление Hu задает иерархию кластеров, кодируемую в значениях пикселей в псевдотроичной системе [2], и в режиме итеративного разделения кластеров строится следующим образом.

На первой итерации рассматриваются все пиксели изображения, отнесенные к одному кластеру, и пикселям Hu присваивается начальное нулевое значение.

На следующей итерации каждый кластер пикселей изображения разделяется на два вложенных кластера, а значения пикселей инвариантного представления удваиваются. Затем все пиксели кластера инвариантного представления увеличиваются на 1, если кластер пикселей изображения оказался однородным. Если кластер пикселей изображения не однороден, то пиксели инвариантного представления, отвечающие пикселям изображения, содержащимся во вложенном кластере с большей средней яркостью, увеличиваются на 2. Преобразование остальных пикселей инвариантного представления, отвечающих пикселям изображения из вложенного кластера с меньшей средней яркостью, на данной итерации ограничивается удвоением значений. Построение инвариантного представления Hu завершается, когда множество пикселей изображения распадается на однородные кластеры.

Кодирование в псевдотроичной системе позволяет для каждого пикселя инвариантного представления Hu воспроизвести последовательность значений, полученных на каждой итерации, что выполняется посредством итеративного деления нечетных значений нацело на 2, а четных значений — делением нацело на 4 с последующим удвоением [2]. При этом целочисленное количество информации в пикселе изображения совпадает с числом четных значений в обсуждаемой последовательности значений пикселя инвариантного представления. Таким образом, при известном Hu целочисленная оценка выполняется тривиально и не требует возвращения к анализу изображения. Интерпретация преобразований значений

пикселей как сдвигов кодов в виртуальной памяти посредством арифметических операций со степенями 2 дает основания считать H_i образом изображения, записанным в цифровую память, которая порождается изображением и подобна памяти обычного компьютера [2, 3].

Представление H_i называется *инвариантным*, так как при подходящем алгоритме разделения неоднородного кластера на пару вложенных, например, методом Оцу [6], оно не меняется при линейном преобразовании изображения по яркости. Преобразование изображения в инвариантное представление коммутирует с его преобразованием в негатив, а также с масштабированием изображения посредством дублирования пикселей. Характерным свойством инвариантного представления на всех итерациях построения является то, что оно получается *изотонным* преобразованием средних яркостей кластеров пикселей изображения в целочисленные значения пикселей инвариантного представления H_i без изменения яркостного порядка. Иными словами, инвариантное представление *изоморфно* по яркости (сохраняет яркостные соотношения) кусочно-постоянных приближений изображения «в средних яркостях», в которых значения пикселей замещаются средними по кластерам значениями.

3. Квазиоптимальные иерархические приближения изображения

Согласно предложенному определению, конкретная целочисленная оценка количества информации существенно зависит от способа построения иерархии кластеров $H(i)$, которая может задаваться также в виде кусочно-постоянных приближений изображения, порождаемых некоторой последовательностью разбиений пикселей изображения на кластеры. Стандартным критерием качества разбиения и соответствующего приближения является среднеквадратичное отклонение σ приближения от изображения или суммарная квадратичная ошибка $E = N\sigma^2$ [7]. При этом наилучшими считаются приближения, которые минимально отличаются от изображения по E или по σ при последовательном значении кластеров. В общем случае последовательность оптимальных приближений изображения не является иерархической [4]. Тем не менее в задачах обработки изображений оказывается возможной аппроксимация последовательности оптимальных приближений иерархическими последовательностями квазиоптимальных приближений [8].

В простейшем случае последовательность квазиоптимальных приближений изображения получается, если выполнять разделение неоднородных кластеров надвое гистограммным методом Оцу [6], вычисляя пороговое значение яркости из условия максимального падения суммарной квадратичной ошибки E . Однако метод Оцу [6] не имеет очевидного обобщения на случай цветных и многоспектральных изображений. С точки зрения многомерного обобщения более перспективным является способ разделения кластера посредством обращения итеративного слияния вложенных в него кластеров на последнем шаге [4, 5, 8].

Вычисление иерархической последовательности квазиоптимальных приближений изображения 1, 2, 3, ... кластерами пикселей выполняется в два этапа, что позволяет избежать анализа повторений кластеров. На первом этапе вычисляется «компактное» инвариантное представление изображения H_i , которое задает последовательность разбиений множества пикселей изображений на 1, 2, 4, ... кластера. На втором этапе по компактному представлению, из условия максимального падения суммарной квадратичной ошибки E или среднеквадратичного отклонения σ , вычисляются приближения с последовательно возрастающим числом кластеров.

Результаты расчетов представляются либо в виде кусочно-постоянных приближений изображения в 1, 2, 3, ... средних яркостях, либо в виде соответствующих инвариантных представлений, которые описывают кусочно-постоянные приближения изображения в средних яркостях аналогично тому, как H_i описывает исходное изображение.

Отличительным признаком обсуждаемых квазиоптимальных приближений изображения в 1, 2, 3, ... средних яркостях является то, что соответствующая последовательность E_1, E_2, E_3, \dots значений суммарной квадратичной ошибки E является выпуклой:

$$E_i \leq \frac{E_{i-1} + E_{i+1}}{2}, \quad i = 2, 3, \dots, g - 1. \quad (4)$$

Таким образом, квазиоптимальные приближения сохраняют свойство (4) оптимальных приближений.

4. Экспериментальные результаты

Для иллюстрации содержания статьи приведем результаты вычислений, полученные для стандартного изображения «Лена» (рис. 1).



Рис. 1. Стандартное изображение «Лена»

Рис. 2 позволяет оценить качество квазиоптимальных приближений по сравнению с оптимальными [4].

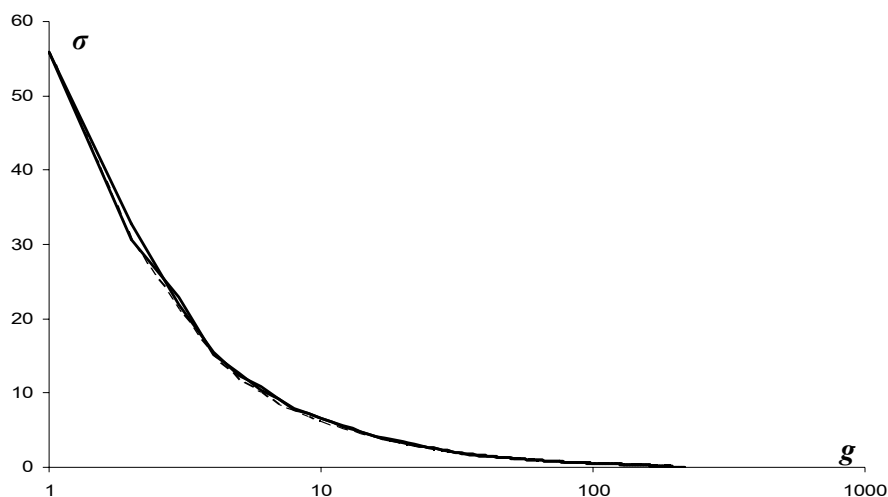


Рис. 2. Оценка качества квазиоптимальных приближений в зависимости от числа кластеров пикселей изображения

На рис. 2 в логарифмическом масштабе по оси абсцисс приведены графики зависимости среднеквадратичного отклонения σ от числа кластеров g для оптимальных приближений (нижняя пунктирная кривая), а также для приближений изображения, вычисленных с применением метода Оцу, и приближений, полученных посредством итеративного слияния кластеров (две сплошные верхние кривые).

Как видно на рис. 2, кривые практически сливаются между собой, что иллюстрирует возможность аппроксимации неиерархической последовательности оптимальных приближений иерархической последовательностью квазиоптимальных приближений, которые гораздо проще вычислять, запоминать и анализировать при компьютерной обработке.

Рис. 3 позволяет наглядно сравнить для 2, 3 и 4 градаций средней яркости оптимальные приближения изображения, показанные в верхнем ряду, с квазиоптимальными, которые показаны в двух нижних рядах в инвариантном представлении, нормализованном на рабочий диапазон яркости.



Рис. 3. Оптимальные и квазиоптимальные кусочно-постоянные приближения изображения

Приближения на основе разделения кластеров надвое методом Оцу показаны в среднем ряду. Приближения на основе разделения кластеров посредством обращения итеративного слияния [4, 5, 8] показаны в нижнем ряду. По зрительному восприятию последовательности квазиоптимальных приближений воспроизводят изображение не хуже оптимальных приближений. При этом инвариантное представление незначительно влияет на восприятие, но в задачах распознавания может существенно улучшать устойчивость результатов сегментации изображений.

Графики на рис. 4 иллюстрируют сравнение суммарной целочисленной оценки Q количества информации в изображении с классическими оценками в зависимости от числа кластеров g , вычисленных для представлений изображения, в которых значения пикселей рассматриваемых g кластеров формально рассматриваются как неделимые или замещаются средними по кластерам значениями.

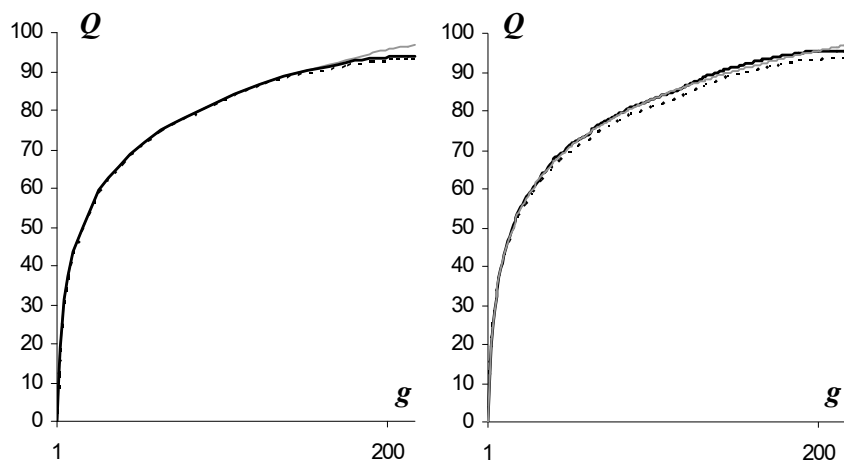


Рис. 4. Сравнение целочисленной оценки количества информации с классическими

Кривые для шенноновской оценки на графиках рис. 4 показаны пунктиром, для оценки по Р. Хартли выполнены в сером цвете, а для целочисленной оценки показаны жирной черной линией.

График на рис. 4 слева построен по данным работы [3], в которой иерархия кластеров строится для стеганографического встраивания и выполняется разделением кластера на вложенные из условия минимизации по абсолютной величине разности количеств пикселей во вложенных кластерах. В этом случае целочисленная оценка количества информации принимает промежуточные значения между классическими оценками и с ростом числа кластеров приближается к шенноновской. Как показано в [3], при этом с шенноновской оценкой согласуется не только интегральная величина количества информации, но и ее распределение по пикселям изображения. Однако при построении приближений суммарная квадратичная ошибка E не принимается во внимание.

График рис. 4 справа иллюстрирует поведение оценки Q количества информации в изображении для случая приближений, построенных из условия минимизации суммарной квадратичной ошибки для варианта разделения кластеров посредством обращения итеративного слияния [4, 5, 8]. В этом случае кривая целочисленной оценки располагается несколько выше кривой для шенноновской оценки и переплетается с кривой для оценки по Р. Хартли. Для варианта с разделением кластера методом Оцу получаются аналогичные результаты. В целом по результатам проведенных экспериментов можно заключить, что предложенная целочисленная оценка согласуется с классическими.

Заключение

В статье мы постарались развить и обобщить понятие целочисленной оценки количества информации, избегая изложения деталей ранее запатентованной стеганографической модели изображения с виртуальной памятью [2, 3], в частности, деталей встраивания данных в изображение (патенты РФ № 2006119146, 2006119273). При этом мы сформулировали определение целочисленного количества информации и проверили его правдоподобие, сравнив результаты с результатами, полученными по классическим формулам.

На текущем этапе исследования разработанная целочисленная оценка количества информации имеет непосредственное практическое значение для стеганографических задач. Может показаться, что область применения целочисленной оценки и связанных с ней понятий при решении так называемой «проблемы сегментации» ограничена гистограммными методами обработки. Однако это не совсем так. Эффективная аппроксимация последовательности оптимальных приближений изображения иерархической последовательностью квазиоптимальных приближений позволяет свести решение задачи оптимальной аппроксимации изображения связными сегментами к простому уменьшению количества сегментов в кластерах пикселей квазиоптимальных приближений.

Разработка методов построения квазиоптимальной иерархии приближений изображения с ограниченным числом связных сегментов и изучение возникающих при этом особенностей целочисленной оценки количества информации определяют дальнейшее направление исследований.

Литература

1. Юсупов Р.М. Теоретические основы прикладной кибернетики. – Л.: Типография ВИКА им. А. Ф.Можайского, 1973. – Вып. 1. Элементы теории информации. – 110 с.
2. Харинов М.В. Запоминание и адаптивная обработка информации цифровых изображений. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2006. – 138 с.
3. Харинов М.В., Заболотский В.П. Стеганографическая защита документов на основе модели запоминания информации изображения // Информация и связь. – 2010. – №1. – С. 77-81.
4. Харинов М.В. Устойчивая сегментация изображения // Вестник Бурятского государственного университета. – 2012. – Вып. 9. – С. 64-69.
5. Харинов М.В. Модель локализации объектов на цифровом изображении // Вестник Бурятского государственного университета. – 2013. – Вып. 9. – С. 182-189.
6. Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms // IEEE Transactions on systems, MAN, and CYBERNETICS. – 1979. – Vol. SMC-9, №. 1. – P. 62-66.
7. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / С.А.Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.

8. Kharinov M.V. Image segmentation by optimal and hierarchical piecewise constant approximations // 11th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-11-2013). Proc. of the 11-th. Int. Conf. Samara: IPSI RAS, September 23-28, 2013. Vol. 1. – P. 213-216.

Харинов Михаил Вячеславович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории прикладной информатики Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации, тел. (812) 3281919. E-mail: khar@iias.spb.

Kharinov Mikhail Vyacheslavovich, candidate of technical sciences, senior researcher, Laboratory of Applied Informatics, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences.

УДК 537.523

© *Б.Д. Цыдыпов*

АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ДИФФУЗИОННОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ СИЛЬНОТОЧНЫХ КАТОДОВ ПЛАЗМОТРОНОВ

В работе представлены постановка и метод решения нестационарной задачи высокотемпературной диффузии и испарения легирующих элементов с нелинейными граничными условиями для катодных узлов генераторов низкотемпературной плазмы.

Ключевые слова: высокотемпературная диффузия, легирующий элемент, термокатод, плазмотрон.

© *B.D. Tsydyrov*

ANALYSIS OF NON-STATIONARY DIFFUSION PROBLEM FOR HIGH-CURRENT CATHODES OF PLASMATRONS

The article presents putting forward and method of solution a non-stationary problem of high-temperature diffusion and evaporation of doping components with nonlinear boundary conditions for cathode units of low-temperature plasma generators.

Keywords: high-temperature diffusion, doping components, thermionic cathode, plasmatron.

Введение

В работе [1] даны постановка и метод решения нелинейной задачи диффузии и испарения эмиссионно-легирующих элементов (активаторов) твердотельных катодов генераторов низкотемпературной плазмы. Ранее [2] решена теплофизическая задача для электродных узлов цилиндрической геометрии катодов данного класса. В сильноточных плазменных системах (СПС), функционирующих в экстремальных условиях по уровням температур на рабочих токах до 15кА, наиболее работоспособными являются составные катодные узлы из сопряженных элементов: «катод (активированный вольфрам) – корпус узла (обойма из меди)» [3]. Здесь при строгой постановке диффузионной задачи необходим учет температурного поля, так как экспериментально показана его решающая роль в динамике выхода активатора из объема катодных структур данной конструкции. Совместное рассмотрение этих задач позволяет сформулировать обобщенную задачу электро- и тепломассопереноса в активированных электродах для решения практически важной проблемы увеличения функциональных характеристик и ресурса СПС.

Постановка задачи

Формулируемая обобщенная задача для электродных структур цилиндрической симметрии (рис. 1. [2]) предусматривает решение системы из трех нелинейных уравнений в двумерном приближении:

а) уравнения теплопроводности

$$c_k \rho_k \frac{\partial T_k}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \lambda_k(T_k) \frac{\partial T_k}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda_k(T_k) \frac{\partial T_k}{\partial z} \right] + j_k^2 / \sigma_k(T_k);$$

б) уравнения непрерывности тока

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \sigma_k(T_k) \frac{\partial U_k}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\sigma_k(T_k) \frac{\partial U_k}{\partial z} \right] = 0,$$

$$j_k = (j_r^2 + j_z^2)^{1/2}, \quad j_r = -\sigma_k(T_k) \partial U_k / \partial r, \quad j_z = -\sigma_k(T_k) \partial U_k / \partial z$$

для катодного узла ($k = 1$ – катод, $k = 2$ – обойма);

в) уравнения диффузии для катода

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r D(T_k) \frac{\partial n}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[D(T_k) \frac{\partial n}{\partial z} \right],$$

$$D(T_k) = D_0 \exp\left(-\frac{Q_a}{kT_k}\right),$$

где T_k – температура; c_k , ρ_k , λ_k , σ_k – соответственно удельная теплоемкость, плотность, коэффициент теплопроводности, удельная электрическая проводимость материалов катодного узла; j_k – плотность тока; U_k – потенциал электрического поля; n , D , D_0 , Q_a , – соответственно концентрация, коэффициент диффузии, фактор диффузии, энергия активации легирующего элемента (присадки); k – постоянная Больцмана; t – время. Решение этих уравнений с соответствующими граничными условиями проведено в [1, 4].

В данной задаче решение ищем в два этапа. Сначала ставится тепловая задача и методом установления определяется стационарное температурное поле $T_{1,2}(r, z)$ в катодном узле в целом. Затем, используя полученное распределение $T_{1,2}(r, z)$ на пространственно-временной сетке тепловой задачи численным методом конечных разностей по локально-одномерной схеме прогонки, находится поле концентрации во вставке $n(r, z)$.

Результаты расчетов и обсуждение

При численном моделировании процессов диффузии и испарения активатора наиболее важным параметром является коэффициент η , характеризующий долю атомов, возвратившихся на катод в результате рециклинга [1]. В процессе счета коэффициент η варьировался от 0 до 1. Соответствующим выбором значений η можно моделировать различные режимы работы катода. Например, режим при $\eta=0$ (свободное испарение без учета ионно-атомного рециклинга) соответствует неустановившемуся

режиму работы катода в момент поджига или отключения дуги, когда происходит наиболее интенсивный унос материала присадки с рабочего торца. Теоретически безэрозионный режим работы катода может быть достигнут, когда в месте привязки дуги устанавливается динамическое равновесие между испарением с поверхности и возвратом активатора в виде ионов ($\eta=1$). В данном случае, характеризующемся эффективным механизмом рециклинга, по истечении 60 мин концентрация эмиссионного компонента в пятне составила величину 0,92 от первоначальной, в то время как концентрация за пятном уменьшилась до 0,17. Здесь ресурс работы катода в течение одного включения плазменного устройства определяется динамикой выхода и испарения присадки за пятном и с боковой поверхности. Расчетное содержание присадки в месте контакта дуги с катодом получается наиболее близким к экспериментальному при $\eta = 0,9 - 0,95$.

Влияние длины вылета катода из обоймы L_c на динамику выхода активатора из объема электрода проанализируем на примере торцевого ($L_c = 0$) и стержневого ($L_c = 1$ см) катодов, рассмотренных в тепловой задаче [2]. По аналогии с графиками изотерм построим линии равных концентраций в объеме электрода.

На рис. 1. показаны кривые изоконцентраций n/n_0 (n, n_0 – текущая и начальная концентрации) в полуплоскости осевого сечения электродных узлов (I – катод, II – обойма). Распределения, полученные для торцевого катода (рис.1а), по характеру напоминают его изотермы. Они имеют вид таких же плавных линий, плотно охватывающих область горячего пятна.

В стержневом катоде (рис.1б) конфигурации кривых изоконцентраций кардинально изменяются. Здесь они сгущаются не в зоне катодного пятна, а на периферии рабочего торца электрода, что связано с более интенсивным обеднением присадкой боковой поверхности электрода. В области же пятна испарение активатора компенсируется возвратом его в виде ионов на катод. В торцевом катоде характер выхода активатора на рабочую поверхность и соответственно распределение $n(r, z)$ внутри электрода совершенно другие. Здесь унос присадки происходит в основном с поверхности катодного пятна. Этот факт можно объяснить следующими причинами.

Во-первых, из-за высокой температуры в пятне и его окрестности ($T \geq 3400$ К) скорость испарения материала в этих местах резко возрастает. Во-вторых, при таком уровне температуры происходит интенсивный рост зерен матрицы вольфрама (рекристаллизация), что существенно уменьшает диффузионный поток присадки из более удаленных слоев катода. В расчетах процесс рекристаллизации учитывался тем, что в диапазоне от 2900 К до температуры плавления матрицы коэффициент диффузии уменьшался (~ до 2 порядков) обратно пропорционально температуре электрода [5]. Рассмотренные выше факторы вызывают быстрое обеднение активирующим элементом области пятна торцевого катода. В стерж-

невом катоде уровни температур ниже и профиль их имеет более пологий и плавный характер [2]. Этим обеспечивается равномерная и эффективная подпитка рабочей поверхности активатором. Кроме того, как видно из рис. 1б, диффузия осуществляется из более удаленных и обширных областей, чем в катоде с $L_c=0$.

В силу этих причин работоспособность катода значительно увеличивается. Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение активированных тугоплавких металлов эффективно в катодных узлах с большими объемами равномерно прогретой части электрода с достаточно высокой интегральной температурой, когда $L_c / d_1 \gg 1$ (d_1 – диаметр катода).

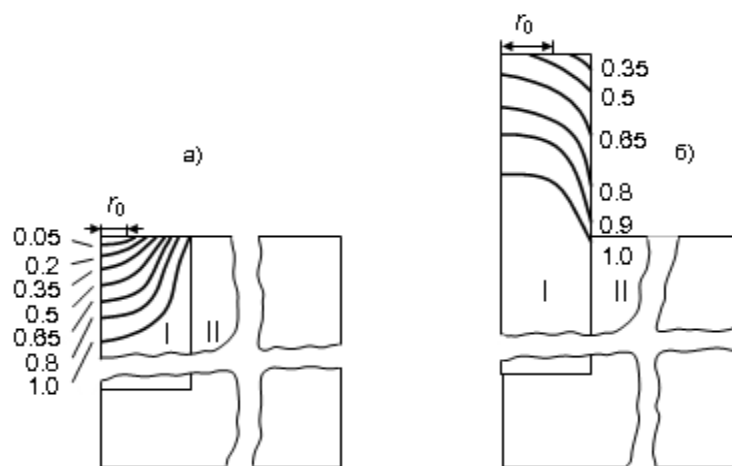


Рис. 1. Изоконцентрационные линии в торцевом (а) и стержневом (б) катодах. $I = 600$ А, $t = 20$ мин

Проанализируем динамику уноса активирующего элемента с рабочих поверхностей рассматриваемых электродов в процессе их функционирования.

На рис. 2 показаны распределения присадки по рабочей поверхности этих катодов после 5 мин их работы. На поверхности торцевого катода в пределах опорного пятна разряда $r_0 = 0,15$ см концентрация за это время уменьшается больше, чем на порядок (кривая 1). При этом наиболее интенсивное обеднение происходит в области, непосредственно прилегающей к пятну. Аналогичная картина наблюдается и на стержневом катоде $L_c=1$ см с опорным пятном $r_0 = 0,31$ см (кривая 2).

Однако здесь уровень концентрации активирующего элемента значительно выше ($n/n_0 > 0,6$), а профили распределения по поверхности более равномерные.

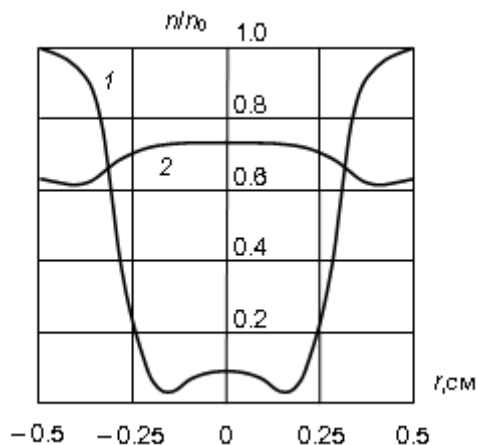


Рис. 2. Распределение активатора по диаметру рабочей поверхности торцевого (1) и стержневого (2) катодов

После 10 мин работы присадка в центре горячего пятна торцевого катода полностью исчезает (рис. 3, кривая 1), а на стержневом катоде к этому времени устанавливается постоянный уровень концентрации $n/n_0 = 0,63$ (кривая 2), т.е. наступает динамический баланс между потоками поступающей и расходуемой присадки. Аналогичное явление происходит и на боковой поверхности электрода (рис. 4), но здесь равновесие наступает примерно после 15 мин работы катода. В дальнейшем на всей рабочей поверхности электрода содержание активирующей присадки не изменяется.

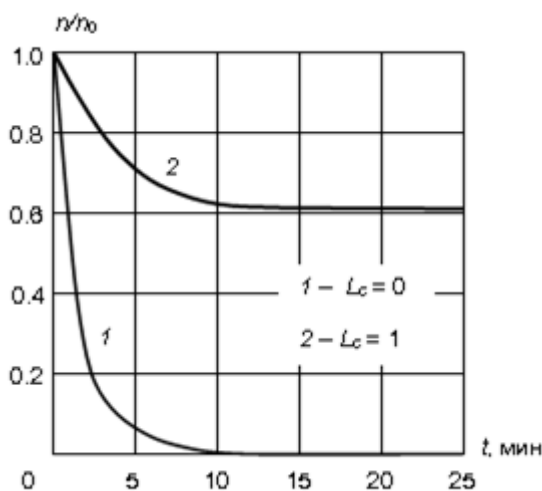


Рис. 3. Зависимость концентрации активатора в центре рабочих поверхностей катодов от времени

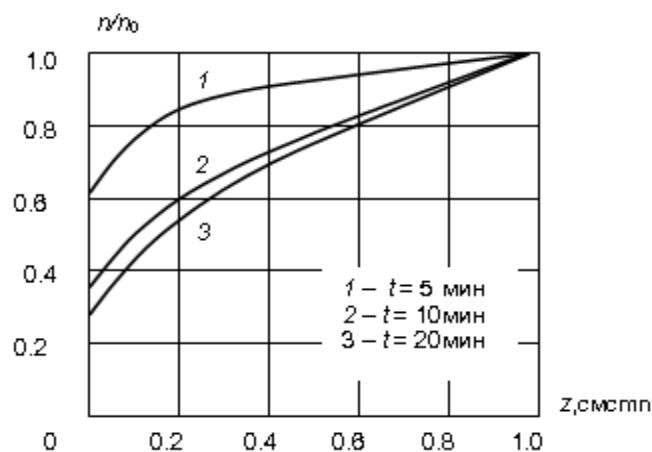


Рис. 4. Распределение концентрации активатора по цилиндрической поверхности стержневого катода

Такая динамика выхода и уноса активатора из катода объясняется тем, что в расчетах не учитывались изменения эмиссионных свойств и теплофизического состояния электрода в процессе функционирования, влияние этих факторов на характер перераспределения частиц легирующего металла в объеме и на поверхности матрицы.

Заключение

Поставлена и решена в двумерном приближении задача тепломассопереноса эмиссионно-активирующих элементов термокатодов цилиндрической геометрии. В совместной постановке решены нелинейные уравнения теплопроводности и протекания тока, диффузии и испарения легирующих компонентов. Анализируются особенности тепломассопереноса активатора в объеме матрицы. Промоделированы и изучены различные режимы его выхода из катода. Показано, что на динамику данного процесса существенное влияние оказывают процесс рекристаллизации материала электрода и механизм рециклинга атомов и ионов металла в прикатодной области стационарного дугового разряда. Исследованы закономерности тепломассопереноса активирующих элементов в зависимости от теплового состояния и геометрии катодного узла. Установлено, что эмиссионные характеристики электродов главным образом зависят от температурного режима катодного узла.

Литература

1. Цыдыпов Б.Д. Нестационарная диффузионная задача для сильноточных катодов плазмотронов. Постановка и метод решения// Вестник

Бурятского государственного университета. Математика, информатика. – 2013. – № 1. – С. 85-91.

2. Цыдыпов Б.Д., Симаков И.Г. Тепловое состояние катодных узлов сильноточных плазменных систем // Теплофизика высоких температур. – 2011. – Т. 49, №5. – С. 663-670.

3. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Вводный том IV / под ред. В.Е. Фортова. – М.: Наука, 2000. – С. 153-459.

4. Цыдыпов Б.Д. Нелинейная термическая задача для системы сопряженных элементов. Метод решения // Вестник БГУ. – 2011. – Вып. 9. – С. 280-284.

5. Кайбышев О.А., Валиев Р.З. Границы зерен и свойства металлов. – М.: Металлургия, 1987. – 214 с.

Цыдыпов Балдандоржо Дашиевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института физического материаловедения СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6. Тел. (3012) 432282, e-mail: lmf@ipms.bscnet.ru

Tsydyпов Baldandorzho Dashievich, doctor of technical sciences, leading researcher, Institute of Physical Materials Science SB RAS, 670047, Ulan-Ude, Sakhyanovoy St., 6. Phone. (3012) 432282. e-mail: lmf@ ipms.bscnet.ru

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ,
ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ В ЖУРНАЛ
«ВЕСТНИК БУРЯТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА. МАТЕМАТИКА, ИНФОРМАТИКА»

Отбор и редактирование публикуемых статей производятся редакционной коллегией из ведущих ученых и приглашенных специалистов.

В журнал следует направлять статьи, отличающиеся высокой степенью научной новизны и значимостью.

Автор статьи должен заключить лицензионный договор о предоставлении неисключительных прав на использование созданного им произведения (статьи) ФГБОУ ВПО «Бурятский государственный университет». Образец лицензионного договора представлен на сайте БГУ.

Общие требования	Тексты представляются в электронном и печатном виде. doc-файл со статьей должен быть отправлен электронным письмом. Название статьи и аннотация даются на русском и английском языках. После аннотации следует дать ключевые слова на русском и английском языках.
Электронная копия	Статья представляется на русском языке в doc-файле, набранная в текстовом редакторе Microsoft Word. Текстовый редактор Microsoft Word (версии XP, 2003). В имени файла указывается фамилия первого автора.
Параметры страницы	Формат А5. Поля: левое – 1,5 см, верхнее, нижнее, правое – 1 см.
Форматирование основного текста	С нумерацией страниц внизу по центру. Абзацный отступ – 0,5 см. Интервал – одинарный.
Гарнитура шрифта	Times New Roman. Размер кегля – 11 пт.
Объем статьи (ориентировочно)	Кратких сообщений – 4-8 с., статей на соискание ученой степени кандидата наук – 8-15 с., на соискание ученой степени доктора наук – 15-30 с.
Сведения об авторах	Указываются фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность и место работы, адрес с почтовым индексом, телефоны/факсы, e-mail (на русском и английском языках)

В начале статьи ставится подробный индекс УДК согласно действующим в настоящее время классификаторам. Далее следуют инициалы и фамилии авторов (полужирный курсив, выравнивание по правому краю), название статьи (полужирным шрифтом, по центру), аннотация, ключевые слова и перевод перечисленных частей текста на английский язык. В конце документа после списка литературы приводятся сведения об авторах и их перевод на английский язык (фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученое звание, должность, место работы (указываются официальные названия организаций), контактный адрес с почтовым индексом, телефоны/факсы, e-mail). Ссылки на гранты приводятся в сноске на первой странице.

Статья должна быть структурирована и содержать введение, ряд разделов с возможными подразделами, заключение, список литературы.

Набор формул осуществляется в редакторе формул Microsoft Equation 3/4 или MathType 5/6. Не допускается: набор формул как текста (включая таблицу символов, надстрочные и подстрочные индексы), а также с применением автофигур; вставка формул как рисунков; сжатие формулы как рисунка. Не допускается набор формул с применением появившегося в Word 2007 нестандартного редактора формул, функционирующего только с форматом docx. Все формулы, на которые в тексте даются ссылки, выносятся в отдельную строку с нумерацией в круглых скобках в тексте по правому краю страницы (строка выравнивается по правому краю). Основной размер шрифта в формулах 11 пт.

- Список литературы – все работы необходимо пронумеровать, в тексте ссылки на литературу оформлять в квадратных скобках.
- Материалы, не соответствующие предъявленным требованиям, к рассмотрению не принимаются.
- Решение о публикации статьи принимается редакцией «Вестника БГУ». Корректуре авторам не высылается, присланные материалы не возвращаются. Гонорар авторам не выплачивается.
- Допустима публикация статей на английском языке, сведения об авторах, название и аннотацию которых необходимо перевести на русский язык.
- Желательно использование только вертикальных таблиц и рисунков. Все объекты должны быть черно-белыми без оттенков. Рисунки и графики должны иметь четкое изображение и быть выдержаны в черно-белой гамме, лучше применять штриховку.

Стоимость опубликования одной статьи составляет за одну страницу формата А5 для сотрудников БГУ – 150 р., для остальных – 300 р.

Оплата за публикацию статьи, авторами которой являются только аспиранты, не взимается. Должна прилагаться справка учреждения, подтверждающая, что авторы являются аспирантами этого учреждения.

Адрес: 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а, Издательство БГУ.
Тел. (301-2)-21-95-57. Факс (301-2)-21-05-88

В Е С Т Н И К
БУРЯТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

2 / 2013

Математика, информатика

Редактор Е.П. Евдокимова
Компьютерная верстка Д.О. Трунина

Подписано в печать 30.12.13. Формат 70 x 100 1/16.
Усл. печ. л. 9,26. Уч.-изд. л. 5,42. Тираж 1000. Заказ 591.
Цена договорная.

Издательство Бурятского госуниверситета
670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а
E-mail: riobsu@gmail.com

Отпечатано в типографии Бурятского госуниверситета
670000, г. Улан-Удэ, ул. Сухэ-Батора, 3а