

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 1563-0064

# РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОРМАТИКА

Научно-технический журнал

Основан в 1997 г.

№ 2(65), апрель – июнь 2014

Выходит 4 раза в год

© Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники, 2014

Свидетельство о государственной регистрации КВ № 12097-968 ПР 14.12.2006

РИ, 2014, № 2

## СОДЕРЖАНИЕ

### ***РАДИОТЕХНИКА***

<b>ПАНЧЕНКО А.Ю., СЛИПЧЕНКО Н.И., БОРОДКИНА А.Н. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ И ИНФОРМАТИВНОСТИ ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫХ РЕЗОНАТОРНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ СВЧ ДИАГНОСТИКИ.....</b>	<b>3</b>
--	----------

### ***СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ***

<b>ГИБКИНА Н.В., ПОДУСОВ Д.Ю., СИДОРОВ М.В. ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОНЕЧНЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ СОСТОЯНИЕМ ОДНОРОДНОГО СТЕРЖНЯ.....</b>	<b>9</b>
<b>АХИЕЗЕР Е.Б., ГЕЛЯРОВСКАЯ О.А., ДУНАЕВСКАЯ О.И., ПРОЦАЙ Н.Т. ПОЛУЧЕНИЕ НАЧАЛЬНОГО ОПОРНОГО ПЛАНА МНОГОИНДЕКСНОЙ ЗАДАЧИ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ.....</b>	<b>16</b>

### ***КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА***

<b>КОРАБЛЁВ Н.М., КУШНАРЁВ М.В., УЖВИЙ Д.П. НЕЙРОСЕТЕВОЙ ЭВРИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ВРЕДОНОСНЫХ ПРОГРАММ С ИММУННЫМ ОБУЧЕНИЕМ.....</b>	<b>19</b>
<b>ХАХАНОВ В.И., МИЩЕНКО А.С., ОБРИЗАН В.И., TAMER VANIAMER МЕТРИКА ДЛЯ АНАЛИЗА BIG DATA.....</b>	<b>26</b>

### ***КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ***

<b>КОНОХ И.С. ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ТРЕНИРОВКИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРЯМОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ НАСТРОЕК ДИСКРЕТНОГО РЕГУЛЯТОРА.....</b>	<b>30</b>
<b>АБДУЛЛАЕВ В.Г. ЗАЩИТА ОТ СПАМА В ИНТЕРНЕТ ПРОСТРАНСТВЕ.....</b>	<b>35</b>

### ***ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ***

<b>ГРИЦИК В.В., ГРИЦИК В.В., БУРОВ С.В., ВОВК О.Б., РИШКОВЕЦЬ Ю.В., ЗОЗУЛЯ А.М. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ СИНТЕЗУ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ПАРАЛЕЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ТА ЇХ НАЛАШТУВАННЯ У КОМП'ЮТЕРНОМУ ЗОРІ.....</b>	<b>39</b>
<b>МІХЄЄВ І.А. СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ БЕТОНУ.....</b>	<b>44</b>
<b>НЕЧИПОРЕНКО Ю.Л. ЕЛЕКТРОННА МЕДИЧНА КАРТКА НА ПЛАНШЕТНОМУ ПК.....</b>	<b>49</b>
<b>РЕФЕРАТИ.....</b>	<b>52</b>
<b>ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА.....</b>	<b>55</b>

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ И ИНФОРМАТИВНОСТИ ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫХ РЕЗОНАТОРНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ СВЧ ДИАГНОСТИКИ

ПАНЧЕНКО А.Ю., СЛИПЧЕНКО Н.И.,  
БОРОДКИНА А.Н.

С помощью анализа конструкций, физических процессов, аналитической модели и результатов численного эксперимента определяются условия повышения точности расчета параметров и повышения информативности четвертьволновых резонаторных преобразователей с коаксиальной измерительной апертурой. Показывается вклад осевой компоненты электрического поля. Описывается алгоритм вычислений параметров преобразователей со сложной структурой и оцениваются границы его применения.

### Введение

Четвертьволновые резонаторные измерительные преобразователи (РИП) обладают рядом достоинств [1]. Они по сравнению с открытыми резонаторами сравнительно хорошо защищены от влияния внешних воздействий, а по сравнению с закрытыми – они позволяют осуществить достаточно простой доступ в рабочую область, в которую помещается исследуемое вещество или образец. Кроме того, уменьшение размеров выходной апертуры РИП позволяет исследовать объекты, которые могут быть существенно меньше длины волны. В частности, такие РИП находят применение в микроволновой микроскопии [2]. При этом сохраняется высокая чувствительность РИП к изменению электрофизических параметров объекта, поскольку электрическая компонента электромагнитного поля (ЭМП) сосредоточена вблизи открытой апертуры, в малой области, которая является рабочей. Таким образом, диэлектрические параметры образца, находящегося в пучности электрического поля, оказывают максимальное влияние. Кроме того, изменение длины РИП позволяет изменять центральную частоту измерений в широком диапазоне. Это дает возможность существенно увеличить объем получаемой информации.

При правильных геометрических формах частичных областей, составляющих конструкцию, такой резонатор допускает теоретическую калибровку, что существенно облегчает процесс проектирования. Однако аналитическая модель такого резонатора крайне гро-

моздка. Численное интегрирование при помощи математических пакетов, основанных на методе конечных элементов, даже на современных компьютерах требует значительных затрат машинного времени. Поэтому получение конечного результата даже при упрощении условий задачи во многих случаях становится невозможным.

Тем не менее, перспективы развития теоретических моделей в целях создания практической методики теоретической калибровки являются актуальной задачей, поскольку круг применений четвертьволновых РИП постоянно расширяется. В частности, такие РИП являются перспективным видом сенсоров для оперативных измерений клинических проб пациентов при диагностике сердечно-сосудистых патологий [3].

Целью данной работы является определение оптимальных путей создания методики теоретической калибровки. Для достижения данной цели в работе представлено решение задачи оценки вкладов физических процессов и адекватности аналитической модели реальным условиям работы четвертьволновых РИП.

### 1. Анализ конструкций РИП

Вопросы теории СВЧ РИП, методов их анализа неоднократно обсуждались в литературе. В настоящее время они достаточно разработаны и используются для создания датчиков различного назначения [4,5]. Тем не менее, вопросы вычислений параметров сложных, а в ряде случаев и сравнительно простых конструкций РИП остаются открытыми.

Геометрическая схема РИП с возможностью перестройки рабочей частоты схематически показана на рис. 1.

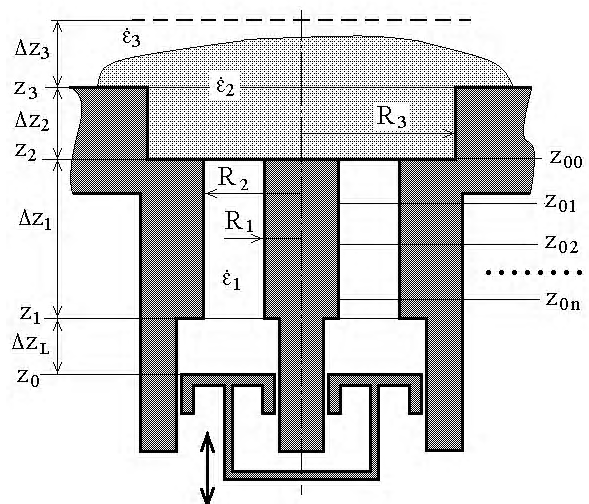


Рис. 1. Геометрическая структура диапазонного четвертьволнового РИП

Исследуемый образец представлен здесь в виде области ( $\dot{\epsilon}_2$ ,  $\Delta z_2$  и частично  $\Delta z_3$ ), размещающейся над открытым концом РИП, причем  $R_3 \geq R_2$ .

Наиболее просто элементы такого РИП выполнить в виде цилиндров. Поэтому нижняя (см. рис. 1), индуктивная часть РИП является закороченным отрезком коаксиальной линии, а рабочая область – открытая апертура, представляет собой сечение коаксиала. Образец может быть закорочен сверху металлическим экраном, но может и сообщаться со свободным пространством. Несмотря на сравнительную простоту конструкции, общее число параметров такого РИП и взаимосвязей между ними весьма велико. Изменение радиусов коаксиальной измерительной апертуры (КИА), вариации размеров  $R_3$  и  $\Delta z_2 \geq 0$ , наличие или отсутствие верхнего и боковых экранов позволяют в широком диапазоне изменять свойства РИП.

## 2. Анализ теоретических основ РИП

Теория коаксиальных четвертьволновых РИП основана на использовании тензорных функций Грина уравнений Максвелла для цилиндрических областей [6, 7].

Так как у четвертьволновых РИП на основном типе колебаний имеется только азимутальная компонента магнитного поля ( $H_\phi$ ), а сами РИП состоят их геометрически правильных областей, то  $H_\phi$  в каждой области можно выразить через поперечную функцию Грина [6]. Например, для частичной цилиндрической области, ограниченной сверху и снизу плоскостями, перпендикулярными к оси, поперечная функция Грина для магнитной компоненты ЭМП имеет вид:

$$G_t^M(\vec{r}, \vec{r}') = \sum_n \sum_m \frac{g_{mn}(z, z')}{\lambda_{mn}^M (k_{mn}^M)^2} \frac{\partial \chi_{mn}(r)}{h_r \partial r} \frac{\partial \chi_{mn}(r')}{h_r \partial r'} \quad (1)$$

где  $\chi$  – собственные функции радиальных плоскостей области;  $\lambda$  – нормы собственных функций;  $k$  – волновые числа собственных функций;  $h$  – коэффициенты Ляме;  $g$  – осевая составляющая функции Грина.

В общем случае собственные функции являются произведением линейных комбинаций функций Неймана на азимутальные компоненты ( $\sin m\phi$ ,  $\cos m\phi$ ), которые определяют вариации поля по окружности. Для основной моды коаксиального четвертьволнового РИП такие вариации отсутствуют.

В соответствии с перестановочным свойством уравнений Максвелла источником  $\vec{j}^M(\vec{r}')$  магнитного поля  $H_\phi$  может быть радиальная компонента электрического поля  $E_r$ . В общем виде для магнитного поля имеется следующее выражение [6]:

$$\vec{H}(r, z) = \int_V G_t^M(\vec{r}, \vec{r}', z, z') \vec{j}^M(\vec{r}', z') dv \quad (2)$$

В соответствии со сказанным выше, это выражение упрощается до

$$H_\phi(r, z) = \int_V G_{0t}^M(\vec{r}, \vec{r}') E_r(\vec{r}') dv \quad (3)$$

Соответственно  $G_{0t}^M(\vec{r}, \vec{r}')$  здесь будет иметь вид:

$$G_{0t}^M(\vec{r}, \vec{r}') = \sum_n \frac{g_{0n}(z, z')}{\lambda_{0n}^M (k_{0n}^M)^2} \frac{\partial \chi_{0n}(r)}{\partial r} \frac{\partial \chi_{0n}(r')}{\partial r'} \quad (4)$$

Обозначим радиальную составляющую функции Грина через  $\vartheta_{0n}(r, r')$ :

$$G_{0t}^M(\vec{r}, \vec{r}') = \sum_n \vartheta_{0n}(r, r') g_{0n}(z, z') \quad (5)$$

Если в области отсутствуют реальные источники, например, область  $\Delta z_2$  (см. рис.1), энергия ЭМП проникает через верхнюю и нижнюю границы области. Тогда система источников также упрощается:

$$E_r(\vec{r}') = \begin{cases} -E_r(r, z = z_{\max}) \\ E_r(r, z = z_{\min}) \end{cases} \quad (6)$$

В результате интегрирование по объему области в (2) сводится к интегрированию по радиусу:

$$H_\phi(r, z) = \int_r [G_{0t}^M(r, r', z, z_{\max}) E_r(r', z_{\max}) - G_{0t}^M(r, r', z, z_{\min}) E_r(r', z_{\min})] dr' \quad (7)$$

Согласно граничным условиям ЭМП, компоненты  $H_\phi$  над и под границами равны, что позволяет составить систему уравнений вида:

$$\begin{aligned} & \int_r [G_{0t}^{M(I)}(r, r', z_{\min}^{(I)}, z_{\max}^{(I)}) E_r(r', z_{\max}^{(I)}) - \\ & - G_{0t}^{M(I)}(r, r', z_{\min}^{(I)}, z_{\min}^{(I)}) E_r(r', z_{\min}^{(I)})] dr' = \\ & = \int_r [G_{0t}^{M(II)}(r, r', z_{\max}^{(II)}, z_{\max}^{(II)}) E_r(r', z_{\max}^{(II)}) - \\ & - G_{0t}^{M(II)}(r, r', z_{\max}^{(II)}, z_{\min}^{(II)}) E_r(r', z_{\min}^{(II)})] dr' \quad (8) \end{aligned}$$

Здесь верхними индексами (I) и (II) обозначены верхняя и нижняя области – любые из составляющих конструкцию РИП.

Согласно граничных условий компоненты  $E_r$  над и под границами также равны, т.е. в (6)

$E_r(r', z_{\min}^{(I)}) = E_r(r', z_{\max}^{(II)})$ . Если одна из этих областей

крайняя, например, верхняя, то  $E_r(r', z_{\max}^{(I)}) = 0$ . Поскольку область цилиндрическая, то сечения на верхней и нижней гранях одинаковые, что позволяет объединить интегралы в правой и левой части (8). Тогда для выполнения равенства необходимо, чтобы результирующая подынтегральная функция была равна нулю. Это позволяет выразить  $E_r(r', z_{\max}^{(II)})$  через

$E_r(r', z_{\min}^{(II)})$  [8]:

$$E_{\max}^{(II)} = \frac{E_{\min}^{(II)} G_{\min, \min}^{(II)}}{G_{\max, \max}^{(II)} + G_{\min, \min}^{(I)}} \quad (9)$$

Здесь и далее оставлены только варьируемые индексы. Спускаясь к границе между II и III областями, получаем следующее уравнение:

$$\int_r [G_{\min, \max}^{(II)} E_{\max}^{(II)} - G_{\min, \min}^{(II)} E_{\min}^{(II)}] dr' = \int_r [G_{\max, \max}^{(III)} E_{\max}^{(III)} - G_{\min, \max}^{(III)} E_{\min}^{(III)}] dr'. \quad (10)$$

После подстановки в (10) выражения (9) и аналогичной процедуры представления  $E_{\max}^{(III)}$  через  $E_{\min}^{(III)}$  получаем:

$$E_{\max}^{(III)} = \frac{E_{\min}^{(III)} G_{\min, \max}^{(III)}}{G_{\min, \min}^{(II)} + G_{\max, \max}^{(III)} - \frac{G_{\min, \max}^{(II)} G_{\min, \min}^{(II)}}{G_{\max, \max}^{(II)} + G_{\min, \min}^{(I)}}}. \quad (11)$$

Несложно заметить, что при записи полей на границе между III и IV областями поменяются верхние индексы у все составляющих (11), а функция связи между  $E_r(r', z_{\max}^{(II)})$  и  $E_r(r', z_{\min}^{(II)})$  займет место  $G_{\min, \min}^{(I)}$ .

Такая процедура позволяет подойти к области, в которой находится реальный источник, или к участку, на котором поле может иметь очевидное распределение. Как правило, это коаксиальный участок достаточной протяженности, чтобы в нем высшие гармоники поля снизились до минимального уровня [9]. Тогда можно считать, что в этом сечении

$$E_r(r) = U_0 / r, \quad (12)$$

где  $U_0$  – произвольное напряжение.

Это позволит определить источники на всех границах и далее вычислять распределения поля во всех участках РИП.

Можно заметить, что выражение (11) и последующие для вычисления источников на границах будут иметь лестничную структуру, в которой многократно повторяются одни и те же компоненты. Кроме того, если учитывать, что функции  $G$  содержат осевую и радиальную компоненты (5), а радиальная компонента  $\vartheta_{0n}(r, r')$  для всей частичной области одна и та же, то в конечном выражении содержится много повторяющихся вычислений. Это приводит к тому, что для определения параметров РИП требуются значительные затраты машинного времени, что практически исключает возможность численного интегрирования.

### 3. Описание алгоритма вычислений

Для решения этой задачи был разработан структурированный алгоритм, в котором, тщательно исключались повторения. Сначала вычислялись компоненты функций  $G$  для всех областей, затем вычислялись

сами функции  $G$  и функции связи  $K_n$  между  $E_r$  на границах, затем рассчитывались  $H_\varphi$  и выходные параметры. Поскольку данный тип РИП хорошо структурируется на индуктивную и емкостную часть, которой является КИА с образцом, то для определения метрологических возможностей РИП достаточно определить поведение комплексной емкости КИА –  $\dot{C}_a$ .

Величину  $\dot{C}_a$  можно, как например в [10], определить на основании интегрирования вектора Пойнтинга по апертуре:

$$C'_a + iC''_a = \frac{i2\pi}{\omega U_0^2} \int_{R_1}^{R_2} E_r(r') H_\varphi(r') r' dr'. \quad (13)$$

Укрупненная схема алгоритма представлена на рис.2.

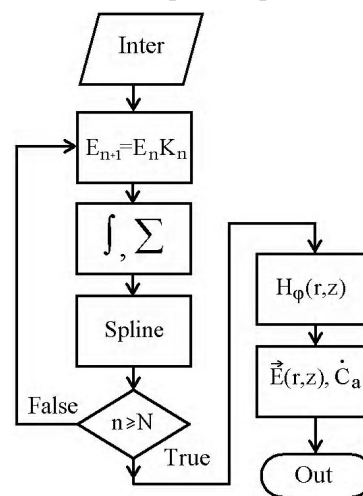


Рис. 2. Структурированный алгоритм вычислений параметров четвертьволнового РИП

В этом алгоритме добавление области в конструкцию РИП прибавляет только вычисление одной  $K_n$ . Для ускорения вычислений использовалась сплайн-аппроксимация.

### 4. Условия задачи численного моделирования

Для анализа свойств РИП и представления возможностей разработанной процедуры вычислений использована модель, у которой исходные параметры выбраны с учетом результатов предшествующих работ [11]. Расчету подлежало распределение компонент ЭМП в рабочей области и емкости КИА при различных вариантах использования приближения заданного поля и изменении рабочей частоты РИП. Поэтому параметры образца не учитывались, считалось  $\epsilon'_2 = 1$ ,  $\text{tg}\delta_2 = 0,0001$ ,  $\Delta z_2 = 0$ ,  $\Delta z_3 = \infty$ . Рабочая частота  $f_0 = 10$  ГГц,  $R_2 = 2$  мм,  $\epsilon'_1 = 1$ ,  $\text{tg}\delta_1 = 0,001$ . Ненулевые потери в первом приближении учитывают потери в стенках коаксиала и в экране и позволяют качественно оценить поведение параметров реальных РИП при реальных образцах. При расчетах варьировались радиус  $R_1$  и положение плоскости заданного поля  $z_{0n}$  (см. рис.1).

## 5. Результаты моделирования и их анализ

Расчетные зависимости распределения магнитной и электрических компонент ЭМП над апертурой при приведенных выше параметрах, положении плоскости заданного поля непосредственно в плоскости экрана и  $R_1 = 1$  мм, а  $U_0 = 1$  В представлены на рис.3, а,б,в.

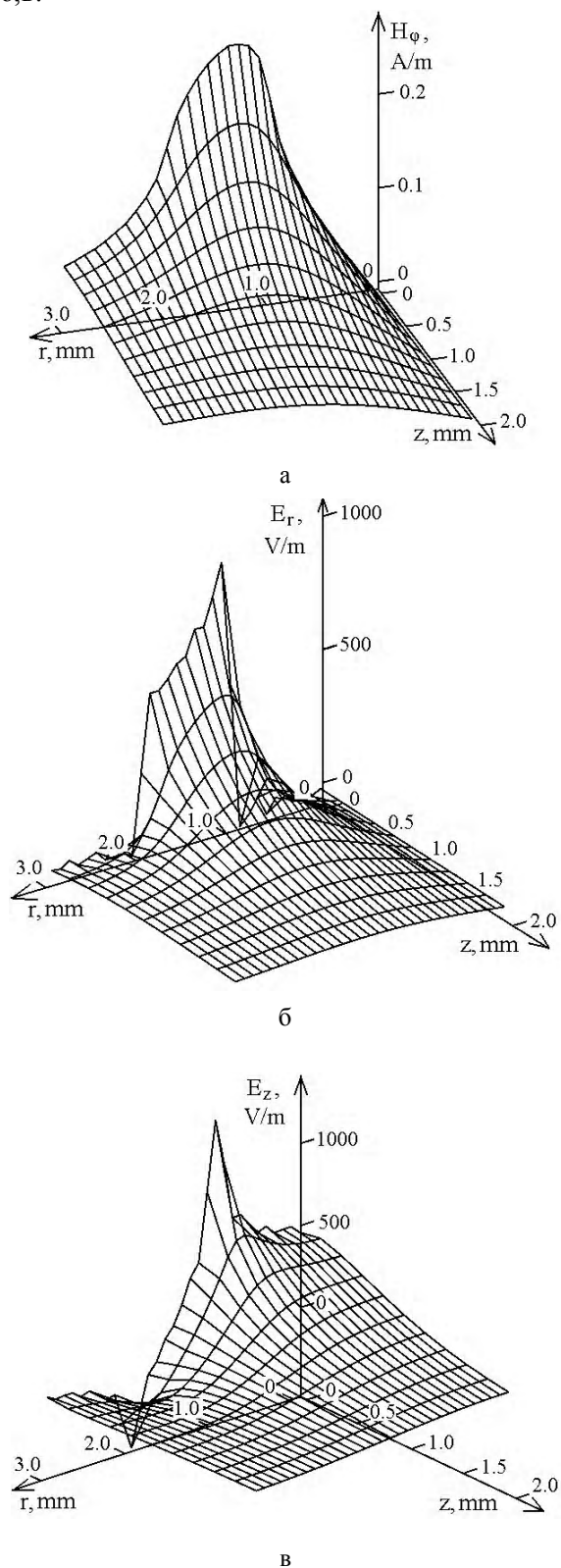


Рис. 3. Модельный расчет распределений компонент ЭМП над апертурой

Электрические компоненты поля рассчитывались с использованием полученного распределения  $H_\phi$  на основании первого уравнения Максвелла.

Как видно, полученное распределение магнитной компоненты ЭМП в плоскости экрана не соответствует распределению  $r^{-1}$ . Плавность изменения  $\text{Im}(H_\phi(r))$  при  $r = R_1$  и  $r = R_2$  обусловлена непрерывностью электрического тока на краях апертур. Поскольку коаксиальная часть РИП для высших гармоник поля является запредельной, то по мере углубления плоскости заданного поля внутрь РИП ( $z_{0n} > 0$ ) распределение  $H_\phi$  будет приближаться к  $r^{-1}$ . При этом его искажения будут меньше влиять на распределение  $E_r$ , и приближение заданного поля будет более строгим. Но показать этот процесс в данном масштабе сложно, поэтому на рис.4, а,б представлено поведение магнитной компоненты, рассчитанной в плоскости заданного поля при изменении положения этой плоскости согласно выражению  $z_{0n} = 0,5 \cdot n$  мм.

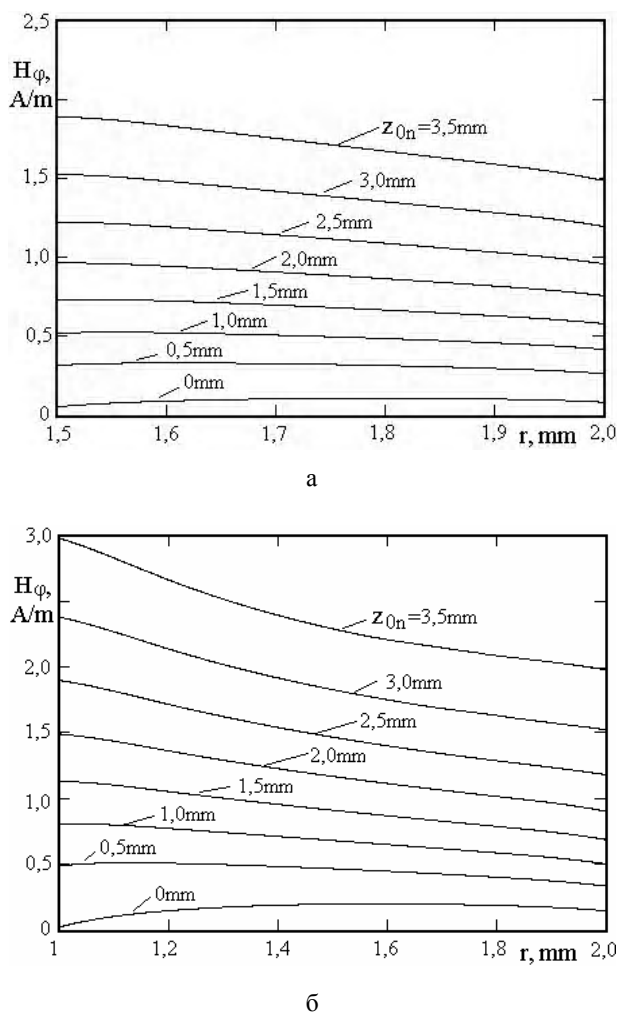


Рис. 4. Распределение магнитной компоненты поля при  $R_1 = 1,5$  мм (а);  $R_1 = 1$  мм (б)

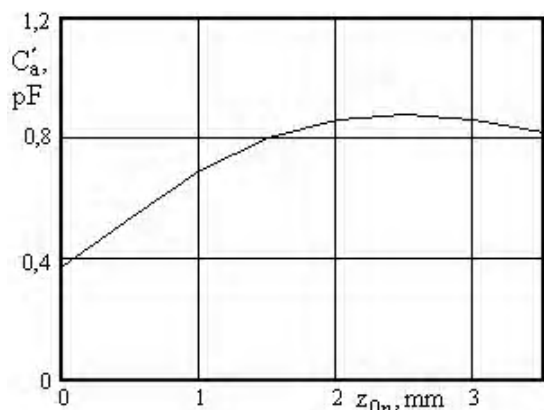
Максимальное углубление плоскости заданного поля выбрано из условия  $z_{0,\text{max}} < \lambda/8$ .

Увеличение абсолютного значения  $H_\phi$  вызвано уменьшением импеданса при увеличении длины коаксиального участка, поскольку во всех случаях заданное поле было одинаково, согласно (12).

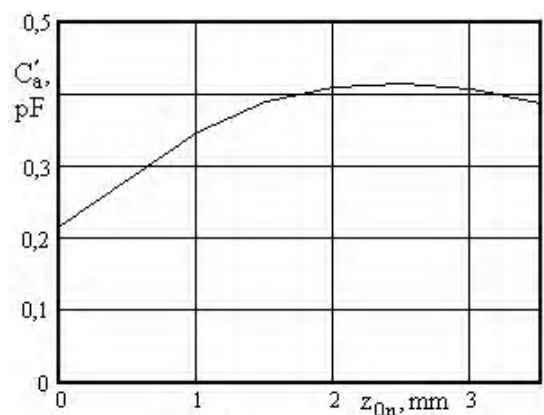
Дальнейший расчет показал существование изменений формы распределения  $H_\phi$  в плоскости экрана при аналогичном изменении положения плоскости заданного поля. Однако это не дает представления о метрологических свойствах метода расчета емкости КИА, поскольку здесь также не учитываются высшие гармоники поля в плоскости  $z_{0n}$ . Можно лишь отметить, что рост площади, заключенной под кривой  $H_\phi(z_{0n}, r)$ , при малых  $z_{0n}$  более быстрый (см. рис.4 а,б).

На основании полученных распределений  $H_\phi(z_{0n}, r)$  согласно (13) был проведен расчет емкости КИА. Для сравнения, рассчитанные значения емкости в плоскостях заданного поля были пересчитаны к плоскости апертуры. При этом пересчете использовались известные соотношения для одномодового режима длинных линий.

Пересчитанные значения реальной части емкости КИА приведены на рис. 5, а,б.



а



б

Рис. 5. Расчетные емкости КИА от глубины погружения плоскости заданного поля при  $R_1 = 1,5$  мм (а),

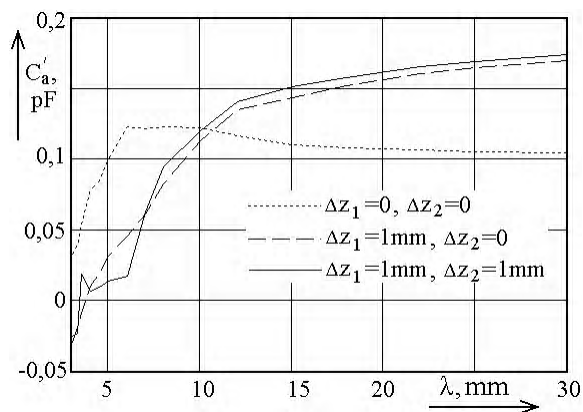
$R_1 = 1$  мм (б)

Меньшие значения расчетных значений  $C'_a$  при  $z_{0n} < 2,5$  мм соответствуют поведению  $H_\phi$  на графиках рис.4,а,б. Отмеченное выше уменьшение роста площади под графиками  $H_\phi$  обуславливает более быстрый рост проводимости на начальном участке. Но основной вклад вносит осевая компонента  $E_z$ . Электрическая емкость устройства определяется общим электрическим полем, а в расчетах емкости КИА (13) учитывается только  $E_r$ . Поэтому такой расчет не может быть корректным. Более того, при любом изменении радиусов отдельных областей РИП необходимо учитывать это обстоятельство.

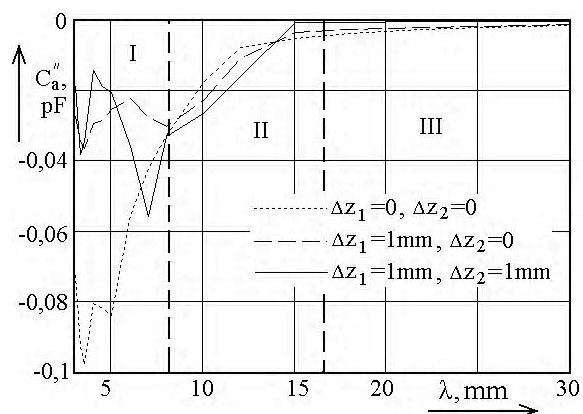
Некоторое снижение расчетных значений  $C'_a$  при  $z_{0n} > 2,5$  мм, вероятно, обусловлено методом пересчета емкости КИА, при котором учитывалась только основная мода. Но это предположение потребует дополнительного анализа, чтобы выявить физические механизмы такого снижения, если они существуют.

## 6. Оценка границ применимости метода

На рис.6,а,б представлены расчетные значения  $C'_a$  и  $C''_a$  в зависимости от длины волны при  $R_1 = 1$  мм.



а



б

Рис. 6. Расчетные значения  $C'_a$  КИА

При увеличении длины волны расчетные значения емкости асимптотически стремятся к постоянным значениям, (рис.6, а, область III рис.6, б). При уменьше-

нии  $\lambda$  увеличиваются потери на излучение, что показывает рост  $|C_a''|$  (область II рис.6, б). Далее искажения поля становятся настолько значительны, что данный алгоритм не дает адекватного представления о процессах (область I рис.6, б).

## Выводы

Представленный в данной работе алгоритм позволяет создавать эффективные численные процедуры, которые кроме конечных результатов позволяют на каждом этапе определить вклад физических факторов и механизмов.

Приближение заданного поля при соответствующей доработке и учете вклада  $E_z$  может быть эффективным инструментом создания практической методики теоретической калибровки. Эффективной является замена реальных параметров РИП параметрами эквивалентных сосредоточенных элементов. В частности, это относится к эквивалентной емкости КИА. Но при этом необходимо будет учесть ее частотные свойства, а учет влияния гармоник потребует аналогичного анализа индуктивной части РИП. Для малых КИА существенно упростить эту задачу позволит использование численных аппроксимаций. Данная задача при современном уровне развития вычислительной техники вполне осуществима.

Отдельное внимание следует уделить конструкции РИП. В нем должен существовать участок, поле в котором с достаточной степенью точности соответствует заданному.

**Литература:** 1. *Гордиенко Ю. Е.* Свойства четвертьволнового коаксиального СВЧ измерительного преобразователя для диагностики материалов / Ю.Е. Гордиенко, В.В. Петров, Д.А.Полетаев // Радиотехника. 2008. № 154. С. 61 – 66. 2. *Гордиенко Ю.Е.* Резонансные измерительные преобразователи в диагностике микрослоистых структур / Ю.Е. Гордиенко // Радиотехника. 1996. Вып. 100. С. 253-266. 3. *Висоцька О.В.* Оцінка функціонального стану бета-адренорецепторів еритроцитів людини при артеріальній гіпертензії методом КВЧ-діелектрометрії / О.В. Висоцька, К.А. Архипова, П.С. Красов, А.П. Порван, А.І. Фісун // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2009. №6/7. С 17-21. 4. *Gordienko, Yu. Ye., Petrov, V. V., Fadi*

*Mokhammad Khammud* .Assessment of the microwave ovens numerical and analytical models the resonator of sensors with a coaxial measuring aperture. Radiotekhnika. 1998. No 140. P. 156-162. 5. *Гордиенко Ю.Е.* Теоретический анализ резонаторного СВЧ измерительного преобразователя тороидального типа / Ю.Е. Гордиенко, А.Ю. Панченко, А.А. Рябухин. // Радиотехника. 2000. Вып. 113. С. 174-179. 6. *Панченко Б.А.* Тензорные функции Грина уравнений Максвелла для цилиндрических областей / Б.А. Панченко. // Радиотехника. 1970. Вып. 15. С. 82–91. 7. *Tai C.T.* Dyadic Green's functions for a coaxial line / С. Т. Tai. // IEEE Trans. of Antennas and Propagation. 1983. Vol. 48, N 2. P. 355–358. 8. *Гордиенко Ю.Е.* Оценка влияния параметров конструкции на информационную способность резонаторных датчиков для измерения диэлектрической проницаемости / Ю.Е. Гордиенко, А.Ю. Панченко, А.А. Рябухин // Радиотехника. 2001. Вып. 120. С. 162-165. 9. *Гордиенко Ю.Е.* Приближение заданного поля в задачах определения характеристик резонаторных СВЧ-датчиков апертурного типа / Ю.Е. Гордиенко, А.Ю. Панченко, Фар Раафаль Саид // Радиотехника. 1998. Вып. 106-107. С. 93-103. 10. *Панченко А.Ю.* Моделирование СВЧ-измерителя параметров веществ резонаторного типа с малой апертурой / А.Ю. Панченко. // Радиотехника. 1998. Вып. 108. С.118-121. 11. *Бородкина А.Н.* Сравнение результатов численного моделирования систем помещения образцов в СВЧ резонаторных датчиках с коаксиальной измерительной апертурой / А.Н. Бородкина, Н.И. Слипченко // Радиотехника. 2013. Вып. 175. С. 89 – 96.

Поступила в редколлегию 23.04.2014

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф. Лучанинов А.И.

**Панченко Александр Юрьевич**, д-р физ.-мат. наук, проф. кафедры проектирования и эксплуатации радиоэлектронных устройств ХНУРЭ. Научные интересы: радиофизика, дистанционные методы измерений, акустика, неразрушающий контроль. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 7021-494.

**Слипченко Николай Иванович**, д-р физ.-мат. наук, проф., проректор по научной работе ХНУРЭ. Научные интересы: микроволновая микроскопия, микро- и оптоэлектроника, СВЧ-гигрометрия, приборостроение. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 7021-013.

**Бородкина Анна Николаевна**, аспирантка каф. микроэлектронных приборов и устройств ХНУРЭ. Научные интересы: биофизика, радиофизика, СВЧ методы измерений, неразрушающий контроль. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 7021-362.





## ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОНЕЧНЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ СОСТОЯНИЕМ ОДНОРОДНОГО СТЕРЖНЯ

*ГИБКИНА Н.В., ПОДУСОВ Д.Ю., СИДОРОВ М.В.*

Рассматривается задача оптимального управления нагревом однородного стержня с теплоизолированной боковой поверхностью. Под оптимальным управлением в данной задаче понимается задание такого краевого режима на концах стержня, который в конечный момент времени обеспечит распределение температуры в стержне, наиболее близкое (в смысле некоторой метрики) к желаемому распределению температур.

### Введение

*Актуальность исследования.* Задачи оптимального управления процессами теплопроводности возникают во многих областях науки, техники и промышленного производства. В частности, такие задачи связаны с нагревом металла под прокатку или термообработку, сушкой и обжигом сыпучих материалов во вращающихся печах, обработкой металлических стержней для турбин энергетических электростанций и силовых промышленных установок, агломерацией, дистилляцией, получением монокристаллов, индукционным нагревом и многими другими производственными процессами [1].

Развитие и усложнение структуры производства приводит к тому, что проблемам моделирования режимов автоматизации технологических процессов посвящается значительное количество исследований. В ходе технического производства необходимо стремиться минимизировать затраты сырья, временных и человеческих ресурсов, одновременно с этим повышая качество производимой продукции в смысле близости ее показателей к установленным стандартам, а также полностью использовать все возможности оборудования в целях повышения производительности. Вследствие влияния различных факторов снижается качество выпускаемой продукции и увеличивается количество производственного брака, что приводит к необходимости разработки таких методов управления, которые бы обеспечивали наилучшее в некотором смысле протекание исследуемых процессов.

Формально речь идет о сложных системах, состояние которых характеризуется одним или несколькими параметрами, распределенными в пространстве и времени. В силу высокой сложности технологических

производственных процессов и особенностей физических процессов распространения тепла, возникающих в ходе производства, для математического моделирования используются краевые задачи математической физики, а управление определяется функционалом специального вида, структура которого зависит от целей управления. В ряде случаев управляемую систему можно считать одномерной.

Теория оптимального управления позволяет подбирать параметры, которые обеспечат оптимальное в некотором смысле функционирование исследуемого процесса.

Таким образом, разработка новых и усовершенствование существующих методов оптимального управления процессами теплопроводности является актуальной научной проблемой.

Для решения задач оптимального управления процессом распространения тепла в стержне используются сеточные методы в сочетании с методами оптимизации (методы проекции градиента и условного градиента) [3, 4, 8], методы, основанные на разложении в ряды Фурье [1, 2, 6], и другие [1].

Как известно, процессы теплопроводности описываются параболическими уравнениями [9, 10]. Кроме того, параболическими уравнениями описываются нестационарные процессы диффузии, фильтрации и др. Теоретическое исследование, а также различные постановки задач оптимального управления, описываемых параболическими уравнениями, проведено в [5, 11].

Каждый из перечисленных методов обладает рядом достоинств и недостатков. К основным недостаткам сеточных методов, например, следует отнести то, что решение задачи получается в виде массива чисел, дающих значение температуры только в отдельных точках расчетной области. Поэтому более эффективным представляется использование методов, основанных на представлении решения в виде непрерывной функции – линейной комбинации некоторых базисных функций.

*Цели и задачи исследования.* Целью настоящего исследования является разработка математических методов оптимального управления конечным температурным состоянием однородного стержня за счет управления температурным режимом на его концах.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- сформулировать соответствующую целям работы задачу оптимального управления процессом теплопроводности в однородном стержне;
- используя метод Фурье, получить решение задачи теплопроводности в однородном стержне с теплоизолированной боковой поверхностью (без внутренних источников тепла) при заданных краевых и начальном условиях;

- рассмотреть различные способы задания управляющих воздействий (в виде отрезка ряда Фурье и в виде кубического сплайна);

- провести вычислительные эксперименты для разных параметров процесса оптимального управления конечным температурным состоянием однородного стержня.

### 1. Постановка задачи

Имеется однородный стержень  $0 \leq x \leq L$  с теплоизолированной боковой поверхностью (внутренние источники тепла отсутствуют) и с заданным температурным режимом на его концах. Через  $u = u(x, t)$  обозначим температуру стержня в точке  $x$  в момент времени  $t$ . Пусть  $u|_{t=0} = \varphi(x)$ ,  $0 \leq x \leq L$  – распределение температуры в стержне в начальный момент времени  $t=0$ . Требуется, управляя температурным режимом на концах стержня, к заданному моменту времени  $T > 0$  распределение температуры в стержне сделать как можно более близким к заданному распределению температур  $y(x)$ ,  $0 \leq x \leq L$ .

Формальная постановка задачи оптимального управления конечным температурным состоянием стержня имеет вид: минимизировать функционал

$$J(\mu) = \|u(x, T; \mu) - y(x)\|_{L_2(0, L)}^2 = \int_0^L (u(x, T; \mu) - y(x))^2 dx \quad (1)$$

при условии, что  $u = u(x, t) = u(x, t; \mu)$  является решением начально-краевой задачи:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad 0 < x < L, \quad t > 0, \quad (2)$$

$$u|_{t=0} = \varphi(x), \quad 0 \leq x \leq L, \quad (3)$$

$$\left(-\alpha_1 \frac{\partial u}{\partial x} + \beta_1 u\right)\Big|_{x=0} = \mu_1(t), \quad t \geq 0, \quad (4)$$

$$\left(\alpha_2 \frac{\partial u}{\partial x} + \beta_2 u\right)\Big|_{x=L} = \mu_2(t), \quad t \geq 0, \quad (5)$$

где  $a^2$ ,  $L$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  – заданные положительные константы,  $\varphi(x)$  – заданная функция из  $L_2(0, L)$ .

В уравнении (2)  $a^2 = \frac{k}{\rho c}$  – коэффициент теплопроводности материала стержня;  $\rho$  – плотность материала;  $c$  – удельная массовая теплоемкость;  $k$  – коэффициент теплопроводности стержня.

Предполагается, что  $\mu = (\mu_1(t), \mu_2(t))$  – управление, принадлежащее множеству

$$M = \{\mu = (\mu_1(t), \mu_2(t)) \in L_2(0, T) \times L_2(0, T),$$

$$\mu_1^{\min} \leq \mu_1(t) \leq \mu_1^{\max}, \quad \mu_2^{\min} \leq \mu_2(t) \leq \mu_2^{\max} \quad (6)$$

почти всюду на  $[0, T]$ , где  $\mu_1^{\min} < \mu_1^{\max}$ ,  $\mu_2^{\min} < \mu_2^{\max}$ .

Возможны также и другие ограничения, накладываемые на управление  $\mu$  [1, 11].

Исследование разрешимости задачи (1)-(6) проводится аналогично схеме, приведенной в [4].

### 2. Построение оптимального управления

Сначала получим решение задачи (2)-(5) методом Фурье. Сделаем замену

$$u(x, t) = w(x, t) + v(x, t), \quad (7)$$

где  $v(x, t)$  – новая неизвестная функция, а

$$w(x, t) = \frac{x^2}{2\alpha_2 L + \beta_2 L^2} \mu_2(t) + \frac{(x-L)^2}{2\alpha_1 L + \beta_1 L^2} \mu_1(t). \quad (8)$$

Функция  $w(x, t)$  выбрана так, чтобы удовлетворять неоднородным краевым условиям (4)-(5).

Тогда для функции  $v(x, t)$  получим начально-краевую задачу с однородными краевыми условиями:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + f(x, t), \quad 0 < x < L, \quad t > 0, \quad (9)$$

$$v|_{t=0} = \psi(x), \quad 0 \leq x \leq L, \quad (10)$$

$$\left(-\alpha_1 \frac{\partial v}{\partial x} + \beta_1 v\right)\Big|_{x=0} = 0, \quad t \geq 0, \quad (11)$$

$$\left(\alpha_2 \frac{\partial v}{\partial x} + \beta_2 v\right)\Big|_{x=L} = 0, \quad t \geq 0, \quad (12)$$

где

$$f(x, t) = a^2 \left( \frac{2}{2\alpha_2 L + \beta_2 L^2} \mu_2(t) + \frac{2}{2\alpha_1 L + \beta_1 L^2} \mu_1(t) \right) - \frac{x^2}{2\alpha_2 L + \beta_2 L^2} \mu_2'(t) - \frac{(x-L)^2}{2\alpha_1 L + \beta_1 L^2} \mu_1'(t), \quad (13)$$

$$\psi(x) = \varphi(x) - \frac{x^2}{2\alpha_2 L + \beta_2 L^2} \mu_2(0) - \frac{(x-L)^2}{2\alpha_1 L + \beta_1 L^2} \mu_1(0). \quad (14)$$

Собственные значения задачи (9)-(12) есть [7]

$$\lambda_n = \left( \frac{\zeta_n}{L} \right)^2, \quad n = 1, 2, \dots, \text{ где } \zeta_n - n\text{-й положительный}$$

корень трансцендентного уравнения

$$\operatorname{ctg} \zeta = \frac{\alpha_1 \alpha_2 \zeta^2 - \beta_1 \beta_2 L^2}{(\alpha_1 \beta_2 L + \alpha_2 \beta_1 L) \zeta}, \quad (15)$$

а соответствующие им собственные функции  $\Phi_n(x)$  имеют вид [7]:

$$\Phi_n(x) = \sin(\sqrt{\lambda_n}x + \theta_n),$$

где  $\theta_n = \arctg \frac{\alpha_1 \sqrt{\lambda_n}}{\beta_1}$ .

Кроме того,

$$\|\Phi_n\|_{L_2(0,L)}^2 = \frac{L}{2} \left\{ 1 + \frac{(\alpha_1 \alpha_2 \zeta_n^2 + \beta_1 \beta_2 L^2)(\alpha_1 \beta_2 L + \alpha_2 \beta_1 L)}{(\alpha_1^2 \zeta_n^2 + \beta_1^2 L^2)(\alpha_2^2 \zeta_n^2 + \beta_2^2 L^2)} \right\}.$$

Тогда решение задачи (9)-(12) будем искать в виде ряда:

$$v(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} T_n(t) \Phi_n(x). \quad (16)$$

Подставив ряд (16) в уравнение (9) и начальное условие (10), получим, что функции  $T_n(t)$ ,  $n = 1, 2, \dots$ , являются решением задач Коши

$$T_n'(t) + \lambda_n a^2 T_n(t) = f_n(t),$$

$$T_n(0) = \psi_n,$$

где

$$\psi_n = \frac{(\psi, \Phi_n)_{L_2(0,L)}}{\|\Phi_n\|_{L_2(0,L)}^2}, \quad (17)$$

$$f_n(t) = \frac{(f, \Phi_n)_{L_2(0,L)}}{\|\Phi_n\|_{L_2(0,L)}^2}, \quad (18)$$

и имеют вид:

$$T_n(t) = \psi_n e^{-\lambda_n a^2 t} + \int_0^t f_n(\tau) e^{-\lambda_n a^2 (t-\tau)} d\tau, \quad n = 1, 2, \dots \quad (19)$$

С учетом (8), (16) и (19) решение задачи (2)-(5) имеет вид:

$$u(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n e^{-\lambda_n a^2 t} \Phi_n(x) + \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^t f_n(\tau) e^{-\lambda_n a^2 (t-\tau)} d\tau \cdot \Phi_n(x) + \frac{x^2}{2\alpha_2 L + \beta_2 L^2} \mu_2(t) + \frac{(x-L)^2}{2\alpha_1 L + \beta_1 L^2} \mu_1(t).$$

Аппроксимацию функций  $\mu_1(t)$ ,  $\mu_2(t)$  будем искать в виде

$$\mu_1(t) = \sum_{k=1}^{m_1} q_k Q_k(t), \quad \mu_2(t) = \sum_{j=1}^{m_2} r_j R_j(t), \quad (21)$$

где  $\{Q_k\}$ ,  $\{R_j\}$  – системы базисных функций в  $L_2(0,T)$ .

В этом случае

$$\psi(x) = \varphi(x) - \frac{x^2}{2\alpha_2 L + \beta_2 L^2} \sum_{j=1}^{m_2} r_j R_j(0) - \frac{(x-L)^2}{2\alpha_1 L + \beta_1 L^2} \sum_{k=1}^{m_1} q_k Q_k(0),$$

$$f(x,t) = a^2 \left( \frac{2}{2\alpha_2 L + \beta_2 L^2} \sum_{j=1}^{m_2} r_j R_j(t) + \frac{2}{2\alpha_1 L + \beta_1 L^2} \sum_{k=1}^{m_1} q_k Q_k(t) \right) - \frac{x^2}{2\alpha_2 L + \beta_2 L^2} \sum_{j=1}^{m_2} r_j R_j'(t) - \frac{(x-L)^2}{2\alpha_1 L + \beta_1 L^2} \sum_{k=1}^{m_1} q_k Q_k'(t).$$

Тогда

$$\psi_n = \frac{1}{\|\Phi_n\|_{L_2(0,L)}^2} \left( \int_0^L \varphi(\xi) \Phi_n(\xi) d\xi - \sum_{j=1}^{m_2} r_j \frac{R_j(0)}{2\alpha_2 L + \beta_2 L^2} \int_0^L \xi^2 \Phi_n(\xi) d\xi - \right. \quad (22)$$

$$\left. - \sum_{k=1}^{m_1} q_k \frac{Q_k(0)}{2\alpha_1 L + \beta_1 L^2} \int_0^L (\xi-L)^2 \Phi_n(\xi) d\xi \right), \quad n = 1, 2, \dots,$$

$$f_n(t) = \frac{1}{\|\Phi_n\|_{L_2(0,L)}^2} \left( \sum_{j=1}^{m_2} r_j R_j(t) \frac{2a^2}{2\alpha_2 L + \beta_2 L^2} \int_0^L \Phi_n(\xi) d\xi + \sum_{k=1}^{m_1} q_k Q_k(t) \frac{2a^2}{2\alpha_1 L + \beta_1 L^2} \int_0^L \Phi_n(\xi) d\xi - \right. \quad (23)$$

$$\left. - \sum_{j=1}^{m_2} r_j R_j'(t) \frac{1}{2\alpha_2 L + \beta_2 L^2} \int_0^L \xi^2 \Phi_n(\xi) d\xi - \sum_{k=1}^{m_1} q_k Q_k'(t) \frac{1}{2\alpha_1 L + \beta_1 L^2} \int_0^L (\xi-L)^2 \Phi_n(\xi) d\xi \right),$$

$$n = 1, 2, \dots$$

Подставив (21)-(23) в (20) и вычислив полученную функцию при  $t = T$ , получим

$$u(x,T) = \sum_{k=1}^{m_1} q_k A_k(x) + \sum_{j=1}^{m_2} r_j B_j(x) + C(x), \quad (24)$$

где

$$A_k(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Phi_n(x)}{\|\Phi_n\|_{L_2(0,L)}^2} \times$$

$$\times \frac{1}{2\alpha_1 L + \beta_1 L^2} \left[ -Q_k(0) \int_0^L (\xi - L)^2 \Phi_n(\xi) d\xi \cdot e^{-\lambda_n a^2 T} + \right. \\ \left. + 2a^2 \int_0^L \Phi_n(\xi) d\xi \int_0^T Q_k(\tau) e^{-\lambda_n a^2 (T-\tau)} d\tau - \right. \quad (25)$$

$$\left. - \int_0^L (\xi - L)^2 \Phi_n(\xi) d\xi \int_0^T Q'_k(\tau) e^{-\lambda_n a^2 (T-\tau)} d\tau \right] +$$

$$+ (x - L)^2 Q_k(T), \quad k = \overline{1, m_1},$$

$$B_j(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Phi_n(x)}{\|\Phi_n\|_{L_2(0, L)}^2} \times$$

$$\times \frac{1}{2\alpha_2 L + \beta_2 L^2} \left[ -R_j(0) \int_0^L \xi^2 \Phi_n(\xi) d\xi \cdot e^{-\lambda_n a^2 T} + \right. \\ \left. + 2a^2 \int_0^L \Phi_n(\xi) d\xi \int_0^T R_j(\tau) e^{-\lambda_n a^2 (T-\tau)} d\tau - \right. \quad (26)$$

$$\left. - \int_0^L \xi^2 \Phi_n(\xi) d\xi \int_0^T R'_j(\tau) e^{-\lambda_n a^2 (T-\tau)} d\tau \right] +$$

$$+ x^2 R_j(T), \quad j = \overline{1, m_2},$$

$$C(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Phi_n(x)}{\|\Phi_n\|_{L_2(0, L)}^2} \int_0^L \varphi(\xi) \Phi_n(\xi) d\xi \cdot e^{-\lambda_n a^2 T}. \quad (27)$$

Таким образом, задача оптимального управления конечным температурным режимом нагревания однородного стержня (1)-(6) сводится к задаче оптимизации:

$$J(\mu) = \int_0^L \left( \sum_{k=1}^{m_1} q_k A_k(x) + \sum_{j=1}^{m_2} r_j B_j(x) + C(x) - y(x) \right)^2 dx = \\ = \sum_{k=1}^{m_1} q_k^2 \delta_k^{(1)} + \sum_{j=1}^{m_2} r_j^2 \delta_j^{(2)} + 2 \sum_{k=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} q_k r_j \gamma_{kj} + \quad (28)$$

$$+ 2 \sum_{k=1}^{m_1} q_k \sigma_k^{(1)} + 2 \sum_{j=1}^{m_2} r_j \sigma_j^{(2)} + \eta \rightarrow \min_{\substack{q_k, k=\overline{1, m_1}, \\ r_j, j=\overline{1, m_2}}},$$

где  $\gamma_{kj} = \int_0^L A_k(x) B_j(x) dx, \quad k = \overline{1, m_1}, \quad j = \overline{1, m_2},$

$$\delta_k^{(1)} = \int_0^L A_k^2(x) dx, \quad k = \overline{1, m_1},$$

$$\delta_j^{(2)} = \int_0^L B_j^2(x) dx, \quad j = \overline{1, m_2},$$

$$\sigma_k^{(1)} = \int_0^L A_k(x) (C(x) - y(x)) dx, \quad k = \overline{1, m_1},$$

$$\sigma_j^{(2)} = \int_0^L B_j(x) (C(x) - y(x)) dx, \quad j = \overline{1, m_2},$$

$$\eta = \int_0^L (C(x) - y(x))^2 dx.$$

Задачу оптимизации (28) нужно дополнить ограничениями на управление (6) или другими [1, 11].

### 3. Вычислительный эксперимент

Для проведения вычислительных экспериментов в задаче (1)-(6) при разных значениях  $m$  были выбраны следующие значения параметров:  $L = 1, a = 1, T = 1$ . Начальное значение температуры в стержне  $\varphi(x) = 0$ . Функция  $\mu_1(t)$  считается заданной, поэтому управление  $\mu$  заключается в определении функции  $\mu_2(t)$ .

Управление  $\mu_2(t)$  будем искать в виде отрезка ряда Фурье:

$$\mu_2(t) = v_{20} + \sum_{k=1}^m \mu_{2k} \sin \frac{\pi kt}{T} + \sum_{k=1}^m v_{2k} \cos \frac{\pi kt}{T}, \quad (29)$$

или кубического сплайна:

$$\mu_2(t) = \sum_{k=-1}^{m+1} r_k B_3 \left( \frac{t}{\tau} - k \right), \quad (30)$$

где

$$B_3(z) = \frac{1}{4} \left[ (z+2)_+^3 - 4(z+1)_+^3 + 6(z)_+^3 - \right. \\ \left. - 4(z-1)_+^3 + (z-2)_+^3 \right],$$

$$(f(z))_+ = \begin{cases} f(z), & f(z) \geq 0, \\ 0, & f(z) < 0, \end{cases} \quad \tau = \frac{T}{m}.$$

На управление  $\mu_2(t)$  накладываются следующие ограничения:

$$\mu_2(0) = 0,$$

$$0 \leq \mu_2(t) \leq 10, \quad t \in (0, T].$$

*Случай 1.* Пусть левый конец стержня поддерживается при температуре окружающей среды, равной 0, а управление заключается в задании при  $t \in (0, T]$  температурного режима на правом конце стержня. Этот случай соответствует следующим значениям пара-

метров в краевых условиях (4)-(5):  $\alpha_1 = 0$ ,  $\beta_1 = 1$ ,  $\alpha_2 = 0$ ,  $\beta_2 = 1$ . Функция  $\mu_1(t)$  известна:  $\mu_1(t) = 0$ .

В этом случае собственные значения  $\lambda_n = \left(\frac{\pi n}{L}\right)^2$ ,  $n = 1, 2, \dots$ , а собственные функции  $\Phi_n(x) = \sin \frac{\pi n x}{L}$ ,  $n = 1, 2, \dots$ .

На рис. 1 приведен график функции  $\mu_2(t)$  оптимального управления нагревом правого конца стержня вида (29) для  $m = 5$ , а на рис. 2 – соответствующий этому случаю модуль разности желаемой  $y(x) = x$  и фактической  $u(x, T)$  температур в конечный момент времени  $T = 1$ . При этом

$$\|u(x, T) - y(x)\|_{L_2(0, L)} = 0,18 \cdot 10^{-4}.$$

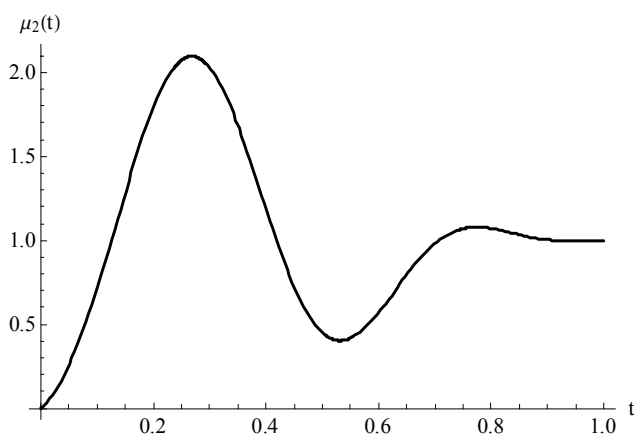


Рис. 1.

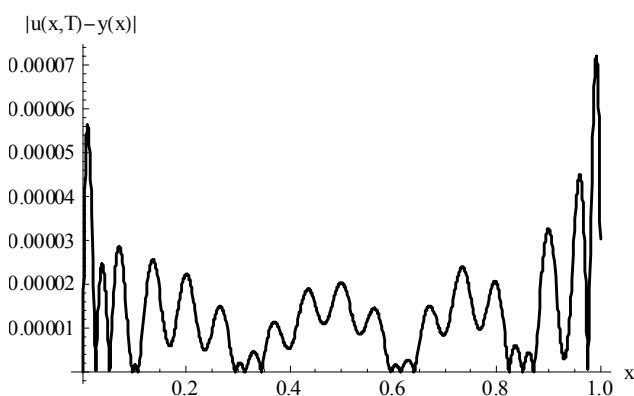


Рис. 2.

На рис. 3 приведен график функции  $\mu_2(t)$  оптимального управления нагревом правого конца стержня вида (30) для  $m = 10$ , а на рис. 4 – соответствующий этому случаю модуль разности желаемой  $y(x) = x$  и фактической  $u(x, T)$  температур в конечный момент времени  $T = 1$ . При этом

$$\|u(x, T) - y(x)\|_{L_2(0, L)} = 0,13 \cdot 10^{-4}.$$

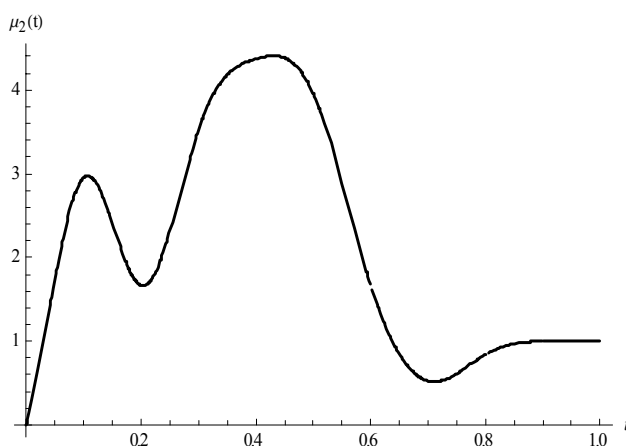


Рис. 3.

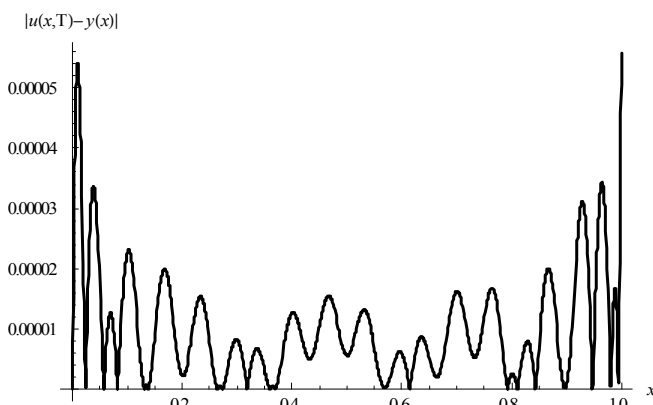


Рис. 4.

*Случай 2.* Пусть левый конец стержня теплоизолирован, а управление заключается в задании при  $t \in (0, T]$  теплового потока на правом конце. Этот случай соответствует следующим значениям параметров в краевых условиях (4)-(5):  $\alpha_1 = 1$ ,  $\beta_1 = 0$ ,  $\alpha_2 = 1$ ,  $\beta_2 = 0$ . Функция  $\mu_1(t)$  известна:  $\mu_1(t) = 0$ .

В этом случае собственные значения  $\lambda_0 = 0$ ,  $\lambda_n = \left(\frac{\pi n}{L}\right)^2$ ,  $n = 1, 2, \dots$ , а собственные функции  $\Phi_0(x) = 1$ ,  $\Phi_n(x) = \cos \frac{\pi n x}{L}$ ,  $n = 1, 2, \dots$ .

На рис. 5 приведен график функции  $\mu_2(t)$  оптимального управления тепловым потоком на правом конце стержня вида (29) для  $m = 5$ , а на рис. 6 – соответствующий этому случаю модуль разности желаемой  $y(x) = x$  и фактической  $u(x, T)$  температур в конечный момент времени  $T = 1$ . При этом

$$\|u(x, T) - y(x)\|_{L_2(0, L)} = 0,57 \cdot 10^{-1}.$$

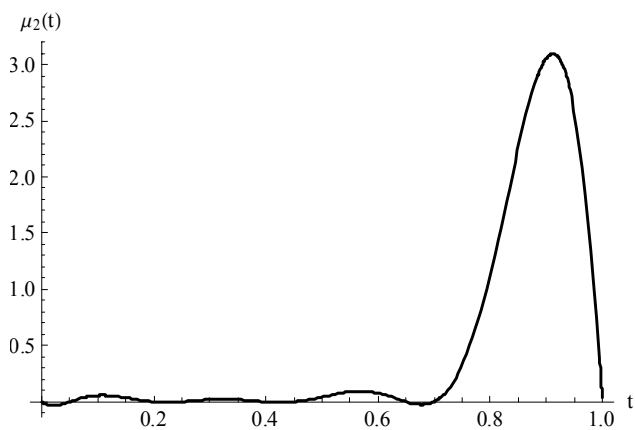


Рис. 5.

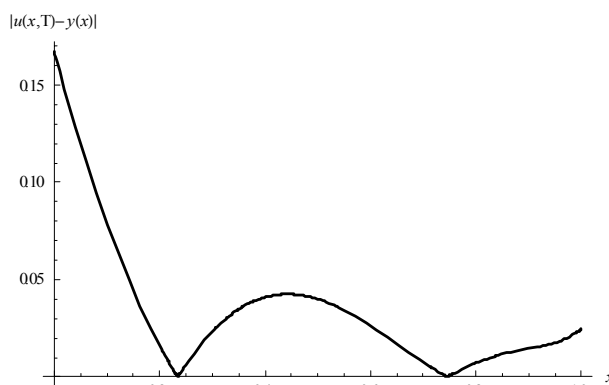


Рис. 8.

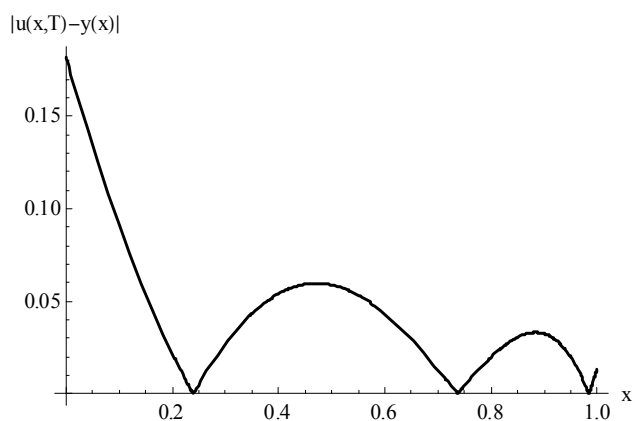


Рис. 6.

На рис. 7 приведен график функции  $\mu_2(t)$  оптимального управления тепловым потоком на правом конце стержня вида (30) для  $m=10$ , а на рис. 8 – соответствующий этому случаю модуль разности желаемой  $y(x) = x$  и фактической  $u(x, T)$  температур в конечный момент времени  $T = 1$ . При этом

$$\|u(x, T) - y(x)\|_{L_2(0, L)} = 0,48 \cdot 10^{-1}.$$

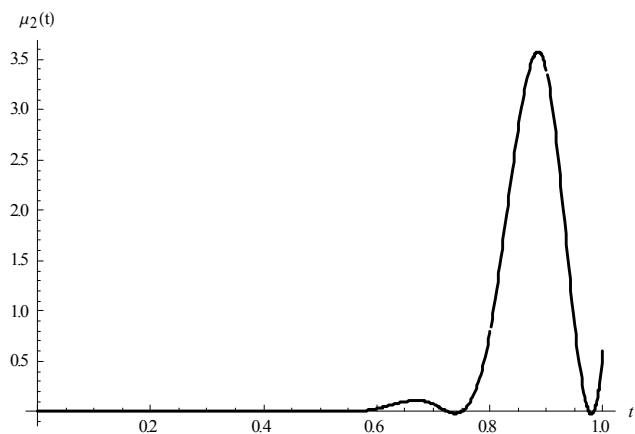


Рис. 7.

*Случай 3.* Считаем, что на левом конце стержня происходит конвективный теплообмен с окружающей средой по закону Ньютона (температура окружающей среды равна 0), а управление заключается в задании при  $t \in (0, T]$  температурного режима на правом конце стержня. Этот случай соответствует следующим значениям параметров в краевых условиях (4)-(5):  $\alpha_1 = 1$ ,  $\beta_1 = 1$ ,  $\alpha_2 = 0$ ,  $\beta_2 = 1$ . Функция  $\mu_1(t)$  известна:  $\mu_1(t) = 0$ .

В этом случае собственное значение  $\lambda_n$ ,  $n = 1, 2, \dots$ , определяется как  $n$ -й положительный корень уравнения

$$\operatorname{tg} \sqrt{\lambda} L = -\frac{\alpha_1 \sqrt{\lambda}}{\beta_1},$$

$$\Phi_n(x) = \sin \sqrt{\lambda_n} (x - L), \quad n = 1, 2, \dots$$

На рис. 9 приведен график функции  $\mu_2(t)$  оптимального управления нагревом правого конца стержня вида (29) для  $m = 5$ , а на рис. 10 – соответствующий этому случаю модуль разности желаемой  $y(x) = x$  и фактической  $u(x, T)$  температур в конечный момент времени  $T = 1$ . При этом

$$\|u(x, T) - y(x)\|_{L_2(0, L)} = 0,39 \cdot 10^{-1}.$$

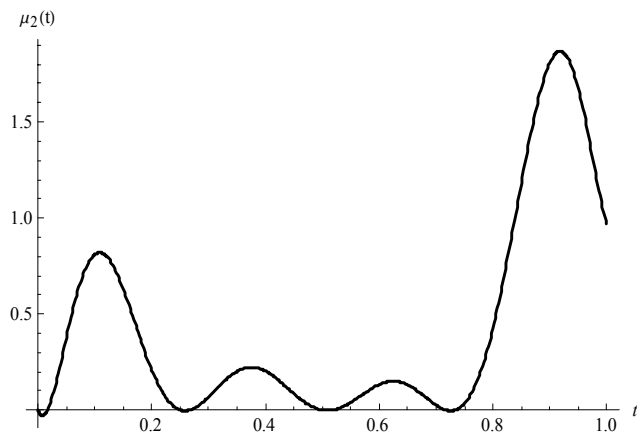


Рис. 9.

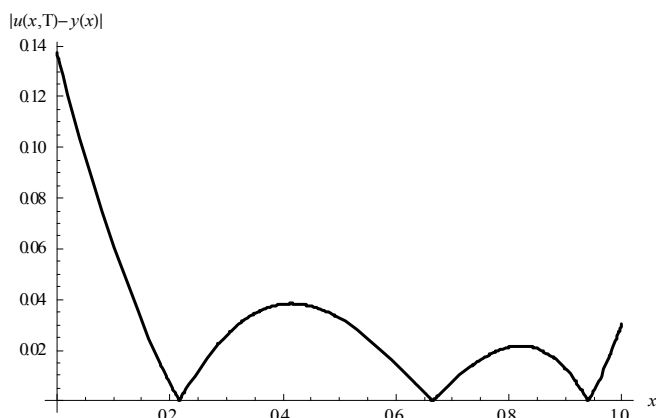


Рис. 10.

На рис. 11 приведен график функции  $\mu_2(t)$  оптимального управления нагревом правого конца стержня вида (30) для  $m = 10$ , а на рис. 12 – соответствующий этому случаю модуль разности желаемой  $y(x) = x$  и фактической  $u(x, T)$  температур в конечный момент времени  $T = 1$ . При этом

$$\|u(x, T) - y(x)\|_{L_2(0, L)} = 0,38 \cdot 10^{-1}.$$

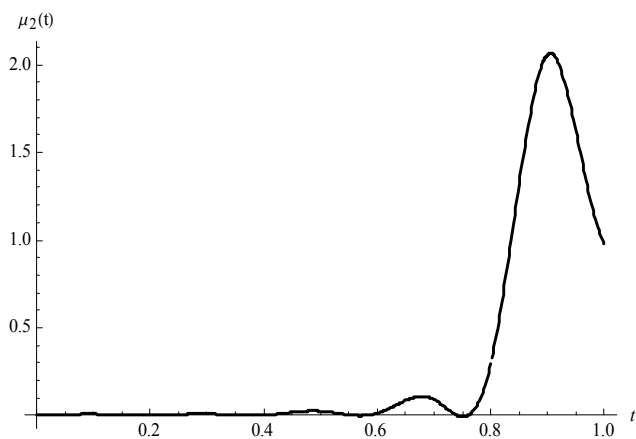


Рис. 11.

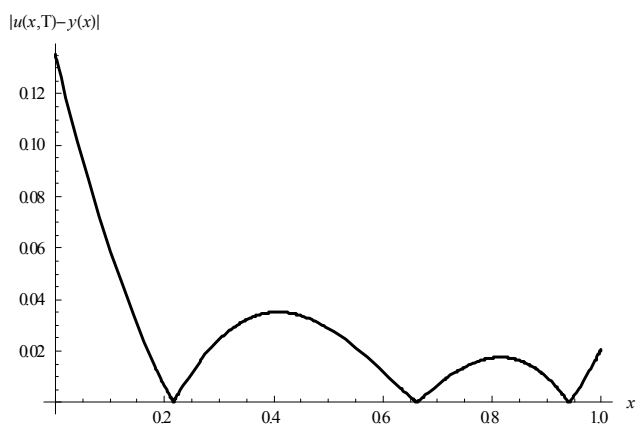


Рис. 12.

## Выводы

Предложен метод построения оптимального управления конечным температурным состоянием однородного стержня. Предложено аппроксимировать управляющие функции отрезком ряда Фурье и кубическим сплайном. Проведены вычислительные эксперименты для различных температурных режимов, поддерживаемых на концах стержня. Видно, что при использовании различных типов аппроксимации сохраняется структура оптимального управления нагревом стержня  $\mu_2(t)$ . Предложенный метод отличается от известных методов тем, что начально-краевая задача для температуры решается аналитически и оптимальное управление также ищется в аналитическом виде. Полученные результаты могут быть использованы при расчете оптимальных программ управления температурным режимом в производственных технических процессах. Выбор типа аппроксимации управляющего воздействия определяется техническими возможностями производственного процесса. В этом состоит научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**Литература:** 1. Бутковский А.Г. Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами. М.: Наука, 1965. 474 с. 2. Бутырин В.И., Фильштинский Л.А. Оптимальное управление температурным полем в стержне при программном изменении зоны управления // Прикладная механика. 1976. Т. 12, №8. С. 115–118. 3. Вабищевич П.Н. Вычислительные методы математической физики. Обратные задачи и задачи управления. М.: Вузовская книга, 2009. 268 с. 4. Васильев Ф.П. Методы оптимизации: В 2-х кн. Ч. II. Мн.: МНЦНМО, 2011. 434 с. 5. Лионс Ж.-Л. Оптимальное управление системами, описываемыми уравнениями с частными производными. М.: Мир, 1972. 416 с. 6. Лисковец О.А. Вариационные методы решения неустойчивых задач. М.: Наука и техника, 1981. 344 с. 7. Мартинсон Л.К., Малов Ю.И. Дифференциальные уравнения математической физики. 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 368 с. 8. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. М.: Едиториал УРСС, 2003. 784 с. 9. Свейников А.Г., Боголюбов А.Н., Кравцов В.В. Лекции по математической физике. М.: Наука, 2004. 416 с. 10. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 2004. 798 с. 11. Фурсиков А.В. Оптимальное управление распределенными системами. Теория и приложения. Новосибирск: Научная книга, 1999. 352 с.

Поступила в редколлегия 17.04.2014

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф. Колосов А.И.

**Гибкина Надежда Валентиновна**, канд. техн. наук, доц. каф. прикладной математики ХНУРЭ. Научные интересы: математическое моделирование, оптимальное управление и его приложения, математическая физика, актуарная и финансовая математика. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057) 7021436.

**Подусов Денис Юрьевич**, магистрант кафедры прикладной математики ХНУРЭ. Научные интересы: математическое моделирование и оптимальное управление, программирование. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057) 7021436.

**Сидоров Максим Викторович**, канд. физ.-мат. наук, доц., доц. каф. прикладной математики ХНУРЭ. Научные интересы: математическое моделирование, численные методы, математическая физика, теория R-функций и её приложения, стохастический анализ и его приложения. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057) 7021436.

## ПОЛУЧЕНИЕ НАЧАЛЬНОГО ОПОРНОГО ПЛАНА МНОГОИНДЕКСНОЙ ЗАДАЧИ ТРАСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ

АХИЕЗЕР Е.Б., ГЕЛЯРОВСКАЯ О.А.,  
ДУНАЕВСКАЯ О.И., ПРОЦАЙ Н.Т.

Рассматривается методика построения начального опорного плана многоиндексной задачи транспортной логистики. Предлагается эффективный метод нуль-преобразования исходных матриц стоимостей для получения начального опорного плана. Описываются соответствующие вычислительные процедуры.

### 1. Введение

*Актуальность.* В реальных задачах транспортной логистики необходимо учитывать не только различия в пунктах производства и потребления, но и промежуточных центров, вида товара, типа транспортных средств. Такая задача описывается многоиндексной моделью транспортной задачи [1].

При высокой размерности задачи, характерной для всех многоиндексных задач, трудно формализуемыми становятся традиционные процедуры построения начального опорного плана, использующие стандартные методы (метод «северо – западного угла», метод минимальной стоимости, метод Фогеля) [2, 3].

Точное решение многоиндексной транспортной задачи может быть получено методом потенциалов [1, 4]. Однако практическая реализация этого метода является трудоемкой, так как содержит большое число итераций. Основная причина – начальный опорный план никак не связан с матрицей стоимостей и поэтому может быть произвольно далеким от оптимального. При этом вычислительная сложность решения быстро растет с увеличением размерности задачи.

*Цель:* построить начальный опорный план многоиндексной задачи транспортной логистики на основании метода нуль – преобразований исходной матрицы стоимостей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ традиционных методов построения начального опорного плана в транспортных задачах.
2. Разработка метода построения начального опорного плана для многоиндексной задачи. Получение соотношения для расчета элементов плана для задачи произвольной индексности.
3. Модификация метода нуль – преобразований исходной матрицы стоимостей.
4. Анализ эффективности метода нуль – преобразований.

## 2. Метод построения начального опорного плана для многоиндексной задачи. Получение соотношения для расчета элементов плана для задачи произвольной индексности

Общая формулировка q-индексной транспортной задачи такова: найти набор  $X = (X_{j_1 j_2 \dots j_q})$ , минимизирующий целевую функцию

$$L(X) = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_2=1}^{n_2} \dots \sum_{j_q=1}^{n_q} C_{j_1 j_2 \dots j_q} X_{j_1 j_2 \dots j_q} \quad (1)$$

и удовлетворяющий ограничениям

$$\sum_{j_1=1}^{n_1} X_{j_1 j_2 \dots j_q} = b_{j_2 j_3 \dots j_q}, \quad j_k \in J_k, \quad k = \{2, 3, \dots, q\},$$

$$\sum_{j_2=1}^{n_2} X_{j_1 j_2 \dots j_q} = b_{j_1 j_3 \dots j_q}, \quad j_k \in J_k, \quad k = \{1, 3, \dots, q\}, \quad (2)$$

$$\sum_{j_q=1}^{n_q} X_{j_1 j_2 \dots j_q} = b_{j_1 j_2 \dots j_{q-1}}, \quad j_k \in J_k,$$

$$k = \{1, 2, \dots, q-1\}, \quad X_{j_1 j_2 \dots j_q} \geq 0, \quad j_1 \in J_1, \quad j_2 \in J_2, \dots, \quad j_q \in J_q, \quad (3)$$

$C_{j_1 j_2 \dots j_q}$  – матрица, определяющая стоимость транспортировки единицы груза в условиях  $(j_1, j_2, \dots, j_q)$ ;  $b_{j_1 j_2 \dots j_{q-1}}$  – суммарный объем груза, транспортируемого в условиях  $(j_1, j_2, \dots, j_{q-1})$ .

Простая технология расчета элементов плана задачи основана на условиях существования решения, сформулированных применительно к триаксальной трехиндексной транспортной задаче.

Соотношения для расчета элементов плана задачи:

$$X_{j_1 j_2 j_3} = \frac{b_{j_1 j_2}}{n_3} + \frac{b_{j_1 j_3}}{n_2} + \frac{b_{j_2 j_3}}{n_1} - \frac{b_{j_3}}{n_1 n_2} - \frac{b_{j_2}}{n_1 n_3} - \frac{b_{j_1}}{n_2 n_3} + \frac{S}{n_1 n_2 n_3}, \quad (4)$$

где  $b_{j_1} = \sum_{j_2=1}^{n_2} b_{j_1 j_2}$ ,

$$b_{j_2} = \sum_{j_3=1}^{n_3} b_{j_2 j_3}, \quad b_{j_3} = \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_1 j_3}, \quad S = \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_3=1}^{n_3} b_{j_1 j_3}.$$

Неотрицательный, удовлетворяющий условиям баланса набор, определяемый (4), есть план задачи:

$$\sum_{j_1=1}^{n_1} X_{j_1 j_2 j_3} = \frac{1}{n_3} \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_1 j_2} + \frac{1}{n_2} \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_1 j_3} + \frac{1}{n_1} \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_2 j_3} - \frac{1}{n_1 n_2} \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_3} - \frac{1}{n_1 n_3} \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_2} - \frac{1}{n_2 n_3} \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_1} + \frac{1}{n_1 n_2 n_3} \sum_{j_1=1}^{n_1} S.$$



Учтем условия баланса, в соответствии с которыми

$$\begin{aligned} \sum_{j_2=1}^{n_2} b_{j_1 j_2} &= \sum_{j_3=1}^{n_3} b_{j_1 j_3}, \quad j_1=1,2,\dots,n_1, \\ \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_1 j_2} &= \sum_{j_3=1}^{n_3} b_{j_2 j_3}, \quad j_2=1,2,\dots,n_2, \\ \sum_{j_2=1}^{n_2} b_{j_2 j_3} &= \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_1 j_3}, \quad j_3=1,2,\dots,n_3, \\ \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_2=1}^{n_2} b_{j_1 j_2} &= \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_3=1}^{n_3} b_{j_1 j_3} = \sum_{j_2=1}^{n_2} \sum_{j_3=1}^{n_3} b_{j_2 j_3} = S. \end{aligned}$$

Преобразуя (5), получаем

$$\begin{aligned} \sum_{j_1=1}^{n_1} X_{j_1 j_2 j_3} &= \frac{1}{n_3} \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_1 j_2} + \frac{1}{n_2} \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_1 j_3} + b_{j_2 j_3} - \\ &- \frac{1}{n_2} b_{j_3} - \frac{1}{n_3} b_{j_2} - \frac{1}{n_2 n_3} \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_1} + \frac{1}{n_2 n_3} S \end{aligned} \quad (6)$$

Далее, так как

$$\begin{aligned} \frac{1}{n_2} b_{j_3} &= \frac{1}{n_2} \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_1 j_3}, \\ \frac{1}{n_3} b_{j_2} &= \frac{1}{n_3} \sum_{j_3=1}^{n_3} b_{j_2 j_3} = \frac{1}{n_3} \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_1 j_2}, \\ \frac{1}{n_2 n_3} \sum_{j_1=1}^{n_1} b_{j_1} &= \frac{1}{n_2 n_3} \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_2=1}^{n_2} b_{j_1 j_2} = \frac{1}{n_1 n_2} S, \end{aligned} \quad (7)$$

то (6) выражение с учетом (7) упрощается к виду

$$\sum_{j_1=1}^{n_1} X_{j_1 j_2 j_3} = b_{j_2 j_3}, \quad j_2=1,2,\dots,n_2, \quad j_3=1,2,\dots,n_3. \quad (8)$$

Аналогично этому в результате суммирования (4) по  $j_2$ , а затем по  $j_3$ , получим соответственно

$$\sum_{j_2=1}^{n_2} X_{j_1 j_2 j_3} = b_{j_1 j_3}, \quad j_1=1,2,\dots,n_1, \quad j_3=1,2,\dots,n_3, \quad (9)$$

$$\sum_{j_3=1}^{n_3} X_{j_1 j_2 j_3} = b_{j_1 j_2}, \quad j_1=1,2,\dots,n_1, \quad j_2=1,2,\dots,n_2. \quad (10)$$

Таким образом, из (8) – (10) следует, что набор (4) – план задачи. Соотношение (4) легко обобщается на случай произвольного числа индексов. В частности, при  $S=4$  соотношение для расчета компонентов плана имеет вид:

$$\begin{aligned} X_{j_1 j_2 j_3 j_4} &= \frac{b_{j_2 j_3 j_4}}{n_1} + \frac{b_{j_1 j_3 j_4}}{n_2} + \frac{b_{j_1 j_2 j_4}}{n_3} + \frac{b_{j_1 j_2 j_3}}{n_4} - \\ &- \frac{b_{j_1 j_2}}{n_3 n_4} - \frac{b_{j_1 j_3}}{n_2 n_4} - \frac{b_{j_1 j_4}}{n_2 n_3} - \frac{b_{j_2 j_3}}{n_1 n_4} - \frac{b_{j_2 j_4}}{n_1 n_3} - \frac{b_{j_3 j_4}}{n_1 n_2} + \\ &+ \frac{b_{j_1}}{n_2 n_3 n_4} + \frac{b_{j_2}}{n_1 n_3 n_4} + \frac{b_{j_3}}{n_1 n_2 n_4} + \frac{b_{j_4}}{n_1 n_2 n_3} - \frac{S}{n_1 n_2 n_3 n_4}. \end{aligned} \quad (11)$$

### 3. Модификация метода нуль – преобразований исходной матрицы стоимостей

Нуль-преобразование исходной матрицы стоимостей для обычной двухиндексной транспортной задачи имеет вид

$$C_{ij}^{(0)} = C_{ij} - (\alpha_i + \beta_j), \quad (12)$$

$$\beta_j = \min_i \{C_{ij} - \alpha_i\}, \quad \alpha_i = \min_j \{C_{ij}\}.$$

Полезный эффект, возникающий при использовании этого преобразования, состоит в том, что

$$\min_j \{C_{ij}^{(0)}\} = 0, \quad j=1,2,\dots,n,$$

$$\min_i \{C_{ij}^{(0)}\} = 0, \quad i=1,2,\dots,m.$$

Таким образом, в каждой строке и каждом столбце матрицы стоимостей  $\{C_{ij}^{(0)}\}$  появляется по меньшей мере один нулевой элемент. Это приводит к тому, что начальный опорный план ближе к оптимальному, а следовательно, для решения задачи понадобится значительно меньшее число итераций.

Обобщим соотношения (12) на случай транспортной задачи произвольной индексности. При этом нуль-преобразование исходной матрицы стоимостей имеет вид

$$C_{j_1 j_2 \dots j_s}^{(0)} = C_{j_1 j_2 \dots j_s} - (\alpha_{j_1}^{(1)} + \alpha_{j_2}^{(2)} + \dots + \alpha_{j_s}^{(s)}),$$

где

$$\alpha_{j_2 j_3 \dots j_s}^{(1)} = \min_{j_1} \{C_{j_1 j_2 \dots j_s}\}, \quad \alpha_{j_1 j_3 \dots j_s}^{(2)} = \min_{j_2} \{C_{j_1 j_2 \dots j_s} - \alpha_{j_2 j_3 \dots j_s}^{(1)}\}$$

$$\alpha_{j_1 j_2 \dots j_{s-1}}^{(s)} = \min_{j_s} \{C_{j_1 j_2 \dots j_s} - \alpha_{j_2 j_3 \dots j_s}^{(1)} - \dots - \alpha_{j_1 j_2 \dots j_{s-2} j_s}^{(s-1)}\}.$$

### 4. Выводы

Эффективность метода нуль-преобразований исследована экспериментально при решении двухиндексных и трехиндексных транспортных задач (рис. 1 и 2). Условия задач формировались с помощью имитационной модели. Каждая задача решалась дважды: а) начальный план формируется традиционным методом северо-западного угла; б) начальный план формируется методом нуль – преобразований. Критерий оценки эффективности имеет вид

$$\eta_k(N) = \frac{V_k^{(T)}(N)}{V_k^{(0)}(N)}, \quad k=2,3.$$

Здесь  $V_k^{(T)}(N)$  – количество итераций улучшения начального плана, полученного традиционным методом до получения решения;  $V_k^{(0)}(N)$  – количество итераций улучшения начального плана, полученного

методом нуль – преобразований до получения решения;  $N$  – размерность задачи.

$$\eta_2 = 1.5 \times 10^{-3} N^{1.5};$$

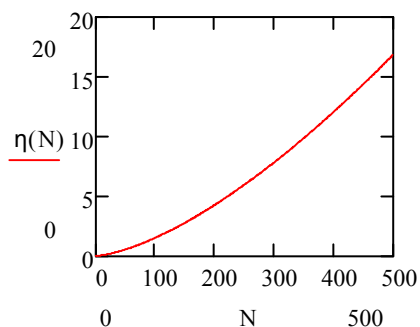


Рис. 1. График зависимости оценки эффективности метода нуль – преобразований от размерности двухиндексной задачи

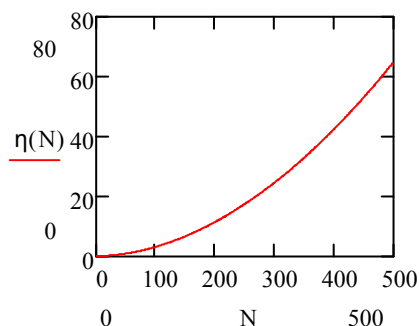


Рис. 2. График зависимости оценки эффективности метода нуль – преобразований от размерности трехиндексной задачи

**Научная и практическая значимость.** Таким образом, использование условий существования решения для многоиндексных задач транспортной логистики позволяет получить начальный опорный план путем расчета по формулам, не прибегая к стандартным трудоемким алгоритмическим процедурам. Для решения многоиндексной задачи управления транспортировкой предложен эффективный метод нуль-преобразований матриц для получения начального опорного плана, что существенно ускоряет процедуру решения.

Методика построения начального опорного плана многоиндексной задачи транспортной логистики была

разработана для линейных транспортных задач. В дальнейшем планируется усовершенствовать алгоритм для использования его при решении нелинейных транспортных задач, которые возникают в результате, во-первых, учета более адекватных, чем линейные, зависимостей стоимости транспортировки от объема перевозимого груза, и, во-вторых – в результате построения моделей транспортных задач, параметры которых носят стохастический характер.

**Литература:** 1. Раскин Л.Г. Многоиндексные задачи линейного программирования / Л.Г. Раскин, И.О. Кириченко. М., 1982. 240с. 2. Юдин Д.Б. Задачи линейного программирования транспортного типа / Д.Б. Юдин, Е.Г. Гольштейн. М.: Сов. радио, 1969. 382с. 3. Лунгу К.Н. Линейное программирование. Руководство к решению задач / К.Н. Лунгу. М.: ФИЗМАЛИТ, 2005. 128с. 4. Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики / В.С. Лукинский, И.А. Цвиринько, Ю.В. Малевич. СПб.: ПИТЕР, 2003. 175с.

Поступила в редколлегию 27.05.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Пиротти Е.Л.

**Ахмезер Елена Борисовна**, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры компьютерной математики и математического моделирования Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Научные интересы: математическое моделирование. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Фрунзе, 21, тел. 707-63-51.

**Гелярковская Оксана Анатольевна**, доцент кафедры компьютерной математики и математического моделирования Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Научные интересы: математическое моделирование. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Фрунзе, 21, тел. 707-63-51.

**Дунаевская Ольга Игоревна**, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры компьютерной математики и математического моделирования Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Научные интересы: математическое моделирование. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Фрунзе, 21, тел. 707-63-51.

**Процай Наталья Тимофеевна**, канд. техн. наук, доцент кафедры компьютерной математики и математического моделирования Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Научные интересы: математическое моделирование. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Фрунзе, 21, тел. 707-63-51.

# КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА



УДК004.89

## НЕЙРОСЕТЕВОЙ ЭВРИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ВРЕДОНОСНЫХ ПРОГРАММ С ИММУННЫМ ОБУЧЕНИЕМ

*КОРАБЛЁВ Н.М., КУШНАРЁВ М.В.,  
УЖВИЙ Д.П.*

Предлагается эвристический анализатор вредоносных программ, основным компонентом которого является искусственная нейронная сеть в виде многослойного персептрона с иммунным обучением. Для решения задачи обучения используется модель кодирования настраиваемых параметров в виде адаптивного структурированного мультиантитела, что позволяет уменьшить количество нейронов в скрытом слое и устранить, таким образом, избыточность нейронной сети. Проведено моделирование работы эвристического анализатора, показывающее эффективность предложенного подхода.

### 1. Введение

В настоящее время количество разнообразного вредоносного программного обеспечения растет, поэтому задачи обнаружения и предотвращения вторжений в компьютер не теряют свою актуальность. Существующие антивирусные продукты не могут обеспечить абсолютно надежную защиту компьютера. Это, в первую очередь, связано с тем, что применяемые в антивирусах принципы поиска не позволяют обнаруживать новые разновидности вредоносных программ до их изучения аналитиками и внесения дополнений и изменений в базы антивирусных программ [1, 2].

Основным способом выявления большинства компонентов вредоносных программ является сигнатурная проверка. Однако сигнатурный метод непригоден для защиты от новых и полиморфных вирусов, так как до тех пор, пока вирус не попал на анализ к экспертам, создать его сигнатуру невозможно. Существующие эвристические технологии, призванные помочь в определении новых модификаций вирусов, не дают должного уровня распознавания в связи с их слабой эффективностью при работе с зашифрованными объектами. Определять новые модификации таких вирусов с высокой долей вероятности еще до момента выхода соответствующего обновления антивирусных баз сегодня невозможно. Частично защитить компьютер от заражения новыми модификациями вирусов могут средства проактивной защиты антивирусных про-

грамм, однако и они имеют ограничения, так как настроены на распознавание общих типов вредоносного поведения.

К недостаткам существующих методов обнаружения вторжений также можно отнести уязвимость к новым атакам, низкую точность и скорость работы. Современные системы обнаружения вторжений плохо приспособлены к работе в реальном времени, в то время как возможность обрабатывать большой объем данных – это определяющий фактор использования таких систем. Указанные недостатки трудно устранить, используя только классические методы в области компьютерной безопасности. Поэтому появилась необходимость в разработке новых эвристических методов, которые смогли бы эффективно распознавать новые модификации вирусов. Основные требования, предъявляемые к таким методам, следующие:

- 1) высокий процент распознавания новых модификаций;
- 2) низкий коэффициент ложных срабатываний;
- 3) высокая скорость проверки одного файла;
- 4) небольшой размер сопутствующих обновлений;
- 5) небольшое потребление системных ресурсов;
- 6) возможность добавления в будущем новых методов обнаружения и анализа вирусов.

С появлением эвристических анализаторов (ЭА) нового поколения, использующих поведенческий анализ на основании данных, получаемых от эмуляторов, и их интеллектуального анализа, появилась возможность обнаруживать не только потенциально вредоносные коды без обращения к базам данных сигнатур, но и ранее неизвестные вирусы. Использование методов искусственного интеллекта позволяет создавать принципиально новые алгоритмы обнаружения вредоносных программ, повышающие уровень защищенности компьютерных систем. В этой связи в составе ЭА в настоящее время активно используются искусственные нейронные сети (ИНС), генетические алгоритмы (ГА), искусственные иммунные системы (ИИС), мультиагентные системы (МАС) [3-8], с помощью которых можно эффективно распознавать как старые, так и новые модификации вирусов, с минимально возможной загрузкой системы. Существующие эвристические технологии, использующие ИНС, ИИС, ГА и МАС, позволяют с довольно большой долей вероятности идентифицировать широкий класс вирусов. Однако полностью эффективных способов борьбы с угрозами на сегодняшний день не существует.

Повысить эффективность обнаружения и анализа вредоносных программ помогут гибридные подходы [9], использующие различные технологии, которые позволяют решать сложные задачи и создавать программные системы, привносящие новое качество сервиса, высокую эффективность и ряд других преимуществ.

В работе предлагается нейросетевой ЭА вредоносных программ. Основным его компонентом является ИНС, обучение которой осуществляется с помощью ИИС. Для решения проблемы работы с полиморфным кодом предлагается взять в качестве входных данных ЭА протоколы, полученные в результате интерпретации вредоносных программ с помощью эмулятора.

## 2. Постановка задачи

Имеется множество исполняемых файлов (объектов)  $X_f, f = \overline{1, F}$ , которые могут содержать вредоносные коды. На этом множестве имеется разбиение на конечное число подмножеств (классов)  $Y_k, k = \overline{1, K}$  и подробные карты их действий (протоколы). Разбиение определено не полностью – задан лишь некоторый набор обучающей информации  $I_0(Y_1, Y_2, \dots, Y_K)$  о классах  $Y_k$ . Протоколы могут содержать общие закономерности в поведении объектов, которые представляются в виде фрагментов программ, являющихся признаками объектов, совокупность которых определяет описание объектов (программ)  $I(Y_1, Y_2, \dots, Y_K)$ . Предполагается, что для каждого исполняемого файла  $X_f, f = \overline{1, F}$  существует вектор характерных поведенческих признаков  $X_f = [x_{f,1}, x_{f,2}, \dots, x_{f,L_f}]$  из  $L_f$  элементов, который может содержать вредоносные коды.

Задача детектирования и анализа вредоносных программ состоит в том, чтобы для исполняемых файлов  $X_f, f = \overline{1, F}$  и набора классов  $Y_k, k = \overline{1, K}$  по обучающей информации  $I_0(Y_1, Y_2, \dots, Y_K)$  и описаниям объектов  $I(Y_1, Y_2, \dots, Y_K)$  отнести исходные программы к определенному классу  $Y_k$  путем выделения и сопоставления соответствующих признаков (фрагментов программ). Информация о вхождении объекта  $X_f, f = \overline{1, F}$  в какой-либо класс представляется в виде информационного вектора

$$I(X_f) = \{I_1(X_f), I_2(X_f), \dots, I_K(X_f)\},$$

где  $I_k(X_f)$  несет информацию о принадлежности или не принадлежности объекта (программы)  $X_f, f = \overline{1, F}$  к классу  $Y_k, k = \overline{1, K}$ .

Для решения задачи распознавания вредоносных программ необходимо определить рейтинг встречаемости для каждого найденного фрагмента программы, который покажет, в каком количестве объектов, из всего множества представленных, был найден данный фрагмент. При этом должна быть сформирована выборка с рейтингами признаков вредоносных программ.

## 3. Выделение характерных признаков

Для распознавания вредоносных программ необходимо выбрать перечень признаков, по которым это распознавание будет производиться. Для того чтобы

эффективно распознать вредоносный код, необходимо составить библиотеку событий, которыми являются программные действия, связанные с системными вызовами, приводящими к изменениям в системе. Составление библиотеки событий делается на основе анализа большого количества вредоносных программ и выделения в них часто встречающихся характерных фрагментов. При этом основной задачей является собрать наиболее полный набор значимых признаков.

Работающая программа выполняет множество различных действий – изменяет значения регистров, флагов процессора, областей памяти и т.п. Но не все из них должны учитываться при распознавании вирусов. Можно взять большое количество вредоносных и невредоносных программ и подать их на семантический анализатор команд, подсчитав число встретившихся событий. Наиболее часто встречающиеся события во вредоносных программах и не встречающиеся в не вредоносных программах и будут характерными признаками.

Наибольшее количество алгоритмов скрытия кода от обнаружения ориентировано на вывод из строя анализаторов кода, поэтому следует отказаться от анализа кода в пользу поведенческого анализа, т.е. анализа взаимодействия программ с операционной системой (ОС) посредством системных вызовов. Большинство существующих систем поведенческого анализа базируются на использовании общих признаков (например, таких как копирование своего исполняемого файла в системные папки ОС, добавление своего исполняемого файла в объект автозагрузки и др.), присущих большому количеству вредоносных программ. Использование такого подхода оправдано тем, что, выделив и заложив такие признаки в поведенческий анализатор один раз, они должны покрыть большое количество существующих вредоносных программ, а также тех, которые появятся в будущем и будут использовать похожие алгоритмы. Недостатком в данном случае является то, что авторам вредоносных программ нетрудно будет обнаружить, на какие именно события настроен такой анализатор.

Эффективным с точки зрения точности распознавания вредоносных программ является подход, ориентированный на распознавание не общих для большинства семейств событий, а уникальных, характерных только для одного отдельно взятого семейства вирусов. Для получения эффективного и достоверного результата таких событий должно быть несколько. Чем больше их количество и чем более они уникальны, тем выше будет процент правильных срабатываний. Наиболее приоритетными при выборе должны быть следующие события:

- связанные с системным реестром;
- связанные с файловой системой;
- связанные с работой сети;
- связанные с манипулированием окнами;

- связанные с манипулированием процессами;
- связанные с установкой перехватчиков системных событий.

Однако некоторые действия, выполняемые вредоносными программами, могут также выполняться и не-вредоносными программами. Для того чтобы свести риск ложных срабатываний к минимуму, следует применить интеллектуальный анализ встречаемости различных событий во вредоносных и не-вредоносных объектах. Анализ заключается в разделении всех возможных комбинаций событий на две группы. К первой группе будут принадлежать вирусы искомого семейства, ко второй – вирусы других семейств, а также не-вредоносные программы. Данный подход при эффективной работе поведенческого анализатора, настроенного на распознавание особенностей поведения, характерного для конкретного типа вредоносных программ, позволяет определять новые модификации вирусов, близких по функционалу, без необходимости срочного обновления антивирусных баз.

Поскольку распознаванию подлежит поток тесно связанных друг с другом команд, который может нанести вред информации пользователя, то запуск вредоносного кода на компьютере пользователя является недопустимым. Для этого создается искусственное окружение с помощью специальных программных эмуляторов, в которых моделируется часть аппаратных и программных функций компьютера для того, чтобы зафиксировать все выполняемые исследуемой программой действия и собрать данные для дальнейшего их анализа. В этом случае программа выполняется не на физическом процессоре, а на интерпретаторе, который также по мере возможности эмулирует внешнюю среду: устройства, память, системные вызовы и др. При этом, если эмулируемая программа начнет выполнять различные деструктивные действия, информация на реальной системе не пострадает, так как будет недоступна из эмулятора.

#### 4. Модель эвристического анализатора

Для решения задачи распознавания вредоносных программ в составе ЭА, который выполняет вероятностное распознавание на основе взвешенной оценки определенного количества признаков, используется ИНС. Схематически модель такого ЭА состоит из следующих блоков (рис. 1) [8]:

1. *Блок мониторинга.* Функцией данного блока является мониторинг поведения вредоносных и не-вредоносных объектов в целях получения протокола их работы (последовательностей вызова API функций и переданных им аргументов).

2. *Блок сравнения.* Данный блок принимает протоколы работы нескольких программ от блока мониторинга и сравнивает их. Результатом работы будет множество одинаковых фрагментов (признаков) в протоколах разных программ одного семейства.

3. *Библиотека признаков.* Данный блок хранит в себе все признаки, выявленные блоком сравнения, и ведет

статистику их встречаемости. На основе этой статистики каждому признаку присваивается рейтинг, характеризующий встречаемость данного признака. Таким образом, фрагмент, который был найден в протоколах всех программ, будет иметь наибольший рейтинг, а фрагмент, который найден в наименьшем количестве программ – наименьший.

4. *Блок принятия решений.* Функция данного компонента – принятие решения о принадлежности или непринадлежности рассматриваемой программы к некоторому семейству вредоносных программ.

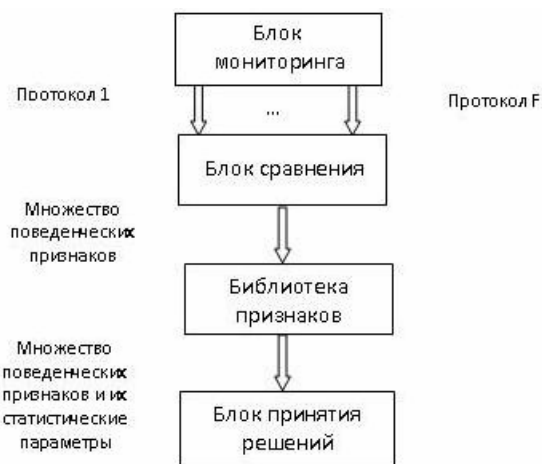


Рис. 1. Модель эвристического анализатора

*Блок мониторинга* представляет собой систему, моделирующую искусственное окружение для работы программ. К данному компоненту предъявляются следующие требования: 1) поддержка выполнения команд центрального процессора (ЦП); 2) поддержка основных и дополнительных, часто используемых API функций; 3) создание идентичных окружений, для всех запускаемых на нем программ.

Основной задачей этого блока является сбор следующих данных: 1) имена вызываемых в процессе работы программы функций WinAPI; 2) передаваемые исследуемой программой аргументы при вызове функций; 3) последовательность вызова функций;

На вход блока поступает объектный файл, который запускается на выполнение в искусственно созданной среде. Во время выполнения программы обработчиками вызываемых ею функций ведется сбор данных и формируется протокол. По завершению выполнения программы сформированный протокол выдается на выход блока для последующей обработки. В качестве модуля мониторинга использовался эмулятор iMUL, разработанный Лабораторией Касперского. Для сбора данных используются специальные программы перехвата вызовов API функций. Перехват API функций осуществляется путем внедрения в память функций инструкции JMP, которая передает управление обработчику, собирающему информацию.

*Блок сравнения* реализует ряд алгоритмов, направленных на выявление общих для исследуемых программ особенностей поведения. На вход блока посту-

пают протоколы работы исполняемых файлов, полученные от эмулятора. На выходе необходимо получить множество общих фрагментов для всех протоколов, которые были поданы на вход. Обработка происходит в два этапа:

- 1) фильтрация входящих протоколов и очистка их от данных, которые не несут информацию о событиях, связанных с действиями над файловой системой, системным реестром, процессами или работой в интернет;
- 2) отфильтрованные протоколы попарно сравниваются для нахождения в них идентичных фрагментов, независимо от их расположения.

Первый этап обработки реализуется специально разработанной вспомогательной программой «Threader». Программа также группирует протокол, разбивая его на несколько частей, в каждой из которых содержится информация о событиях, выполняемых отдельными потоками.

Второй этап реализуется специально разработанной программой «Matcher», с помощью которой производится сравнение протоколов. По завершении своей работы программа приводит список найденных совпадающих последовательностей, их смещения в массиве и размеры.

*Библиотека признаков* представляет собой хранилище данных, в котором содержатся фрагменты протоколов в удобном для обработки формате. Фрагменты представляют собой массивы структур, каждая из которых предназначена для хранения ключевой информации об API функции – тип функции и значения наиболее важных с точки зрения анализа аргументов.

Для каждого хранимого признака  $x_f$ ,  $f = \overline{1, L_f}$  подсчитывается рейтинг встречаемости:

$$R_f = X_f / F, \quad (1)$$

где  $X_f$  – количество найденных объектов с данным признаком;  $F$  – общее количество объектов.

*Блок принятия решений* является основным компонентом ЭА, состоящим из нескольких параллельно работающих нейронных сетей (НС), каждая из которых предназначена для распознавания вредоносных программ определённого семейства и способна выполнять классификацию входных векторов на две группы. В работе использован многослойный перцептрон с иммунным обучением, имеющий входной слой, один промежуточный слой и выходной слой, который содержит один нейрон. В промежуточном слое нейронов в качестве функций активации используются сигмоидальные функции:

$$z_m = f(u_m) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda_m u_m}}, u_m = \sum_{n=1}^N w_{n,m} \cdot x_n + w_{o,m}, \quad (2)$$

где  $z_m$ ,  $m = \overline{1, M}$  – выходной сигнал  $m$ -го нейрона промежуточного слоя, состоящего из  $M$  нейронов,

которые имеют  $N$  входов;  $x_n$ ,  $n = \overline{1, N}$  –  $n$ -я компонента входного вектора признаков, подаваемого на входной слой НС;  $w_{n,m}$  – весовой коэффициент  $n$ -го входного признака  $x_n$ , поступающего на вход  $m$ -го нейрона промежуточного слоя;  $w_{o,m}$  – значение смещения;  $\lambda_m$  – коэффициент, определяющий крутизну функции активации  $f(u_m)$ .

Нейрон выходного слоя имеет пороговую функцию активации  $\varphi$  и используется для вынесения вердикта о принадлежности анализируемой программы к семейству  $Y_k$  вредоносных программ или непринадлежности:

$$y_k = \varphi\left(\sum_{m=1}^M v_m \cdot z_m + v_o\right) = \begin{cases} 1, & \text{если } y_k > 0, \\ 0, & \text{если } y_k \leq 0. \end{cases} \quad (3)$$

где  $v_m$  – весовые коэффициенты,  $v_o$  – смещение.

Количество входов НС выбирается равным количеству найденных при сравнении повторяющихся фрагментов (признаков). Из необходимости учитывать не только присутствие определенного признака, но и его проявляемость, на входы НС подаются рейтинги встречаемости признаков  $R_f$ . Обученная НС может оценивать признаки объекта и давать заключение – принадлежит объект к классу вредоносных или нет. Найденные в рассматриваемом образце признаки сверяются с библиотекой, откуда извлекаются значения рейтингов, которые затем поступают на входы НС. Если не все признаки в данной группе найдены, то рейтинги найденных признаков устанавливаются равными 0. На основе взвешенной оценки присутствующих признаков и их проявляемости НС выносит общее решение о вредоносности объекта.

ЭА работает в двух режимах: обучение и распознавание. В режиме обучения происходит настройка ЭА на распознавание поведений вредоносных программ, при этом выполняются следующие действия:

1. Множество исполняемых файлов, сходных по функционалу и принадлежащих к одному семейству, исследуется с помощью эмуляции и составляются подробные карты их действий (протоколы).
2. Протоколы сравниваются между собой для того, чтобы выявить общие закономерности в поведении объектов.
3. Найденные закономерности представляются в виде фрагментов протоколов и сохраняются в библиотеке. Подсчитывается рейтинг встречаемости для каждого найденного фрагмента. Этот рейтинг показывает, в каком количестве объектов, из всего множества представленных, был найден данный фрагмент. Происходит формирование выборки с рейтингами признаков вредоносных программ для обучения НС на положительные вердикты.

4. Выборка невредоносных программ исследуется с помощью эмуляции аналогичным образом. После этого в протоколах работы данных программ производится поиск фрагментов поведения вредоносных программ, предварительно сохраненных в библиотеке. Для всех невредоносных программ также формируется выборка с рейтингами признаков вредоносных программ, которая будет использована для обучения НС на отрицательные вердикты.

5. Производится создание НС и ее обучение на ранее подготовленных наборах рейтингов встречаемости. При этом выполняется кластеризация входного множества данных на два подмножества, первое из которых будет соответствовать вредоносным программам исследуемого семейства, а второе – невредоносным программам или же вредоносным программам из других семейств.

Будем решать задачу обучения всех параметров НС в режиме off-line с использованием ИИС [10], основной идеей которой является представление решаемой задачи в виде антигена, а возможные ее решения – в виде антител. В виде популяции антигенов  $Ag$  выступает обучающая выборка размерности  $S$  относительно входных  $x_n$ ,  $n = \overline{1, N}$  и выходной  $Y$  переменных. В качестве антител используются векторы настраиваемых параметров. В одном антителе кодируются все настраиваемые параметры сети  $w_{n,m}$ ,  $w_{o,m}$ ,  $v_m$ ,  $v_o$  и  $\lambda_m$ ,  $n = \overline{1, N}$ ,  $m = \overline{1, M}$ . Используется вещественное кодирование антител, при котором каждый параметр вектора антитела описывается отдельным действительным числом. Для решения задачи используется модель кодирования настраиваемых параметров в виде адаптивного структурированного мультиантитела [11, 12], состоящего из двух частей, каждая из которых может обрабатываться независимо друг от друга (рис.2).

$w_{1,1}, \dots, w_{1,M}, \dots, w_{N,1}, \dots$ $w_{N,M}, w_{0,1}, \dots, w_{0,M}, \lambda_1, \dots, \lambda_M$	$v_1$	...	$v_M$	$v_0$
$ab_0$	$ab_1$	...	$ab_M$	$ab_{M+1}$
Часть 1	Часть 2			

Рис.2. Структура мультиантитела  $mAb$

В части 1 мультиантитела закодированы весовые коэффициенты  $w_{n,m}$ , значения смещений  $w_{o,m}$  и коэффициенты  $\lambda_m$ ; в части 2 закодированы коэффициенты  $v_m$  и смещение  $v_o$ .

В качестве вычислительной модели ИИС используются принципы клонального отбора и сетевого взаимодействия [10]. Согласно принципу клонального отбора антитело, распознавшее антиген, клонируется, и полученные клоны подвергаются мутации. Если в результате мутации аффинность клона улучшается, то соответствующее антитело заменяется своим клоном, т.е. осуществляется клональный отбор. В соответ-

ствии с принципом сетевого взаимодействия антитела взаимодействуют не только с антигенами, но и с другими антителами, в результате чего обеспечивается эффект взаимной стимуляции и суппрессии, что приводит к сокращению числа нейронов в промежуточном слое.

Алгоритм обучения НС представляет собой такую последовательность шагов:

1. Инициализация популяции мультиантител  $mAb$ . Инициализация начальной популяции мультиантител выполняется случайным образом.

2. Вычисление аффинности  $Aff_{mAb-Ag}$  для каждого мультиантитела. Для вычисления аффинности мультиантитела необходимо подставить параметры, закодированные в мультиантителе, в НС. На вход НС подаются входные признаки  $x_n$  и вычисляется значение выходной переменной  $y_s$ . Аффинность мультиантитела  $mAb$  с антигеном  $Ag$  вычисляется в виде:

$$Aff_{mAb-Ag} = (1 + d_{mAb-Ag})^{-1}, \quad (4)$$

где  $d_{mAb-Ag}$  – расстояние Хэмминга между полученным значением выхода НС  $y_s$ ,  $s = \overline{1, S}$  и желаемым  $u$  для всех  $S$  антигенов популяции  $Ag$ :

$$d_{mAb-Ag} = \sum_{s=1}^S y_s, \quad \text{где } y_s = \begin{cases} 1, & \text{если } y_s \neq u, \\ 0, & \text{если } y_s = u. \end{cases} \quad (5)$$

3. Клонирование мультиантител пропорционально их аффинности и формирование популяции клонов  $Cl$ . Параметрами оператора клонирования являются количество антител для клонирования  $n$  и кратность клонирования антитела  $N_{Cl}$ . В иммунном алгоритме обучения НС будем использовать фиксированное значение параметра  $n$ . Кратность клонирования мультиантитела  $N_{Cl}$  будем регулировать в процессе работы иммунного алгоритма в зависимости от аффинности мультиантитела по соотношению:

$$N_{Cl} = \alpha * N_{Cl\_min} + (1 - \alpha) * N_{Cl\_max}, \quad (6)$$

где  $\alpha = \frac{Aff_{best} - Aff_{mAb-Ag}}{Aff_{best}}$ ,  $N_{Cl\_min}$  и  $N_{Cl\_max}$  – минимальная и максимальная кратность клонирования мультиантитела;  $Aff_{best}$  – лучшее значение аффинности в текущем поколении.

4. Мутация клонов обратно пропорционально аффинности мультиантитела, формирование популяции мутированных клонов  $MS$ . Мутацию выбранных параметров мультиантитела  $mAb$  будем выполнять путем добавления гауссовского шума:

$$mAb_{i+1} = mAb_i + N(0, \sigma_i), \quad (7)$$

где  $\sigma_i$  – дисперсия случайной величины, которая ассоциируется с каждым параметром мультиантитела. Для изменения  $\sigma_i$  используется соотношение:

$$\sigma_{i+1} = \sigma_i \frac{\text{Aff}_{\text{best}} - \text{Aff}_{mAb-Ag}}{\text{Aff}_{\text{best}} - \text{Aff}_{\text{worst}}}, \quad (8)$$

где  $\text{Aff}_{\text{worst}}$  – худшее значение аффинности в текущем поколении.

5. Вычисление аффинности популяции МС в соответствии с (4). Если в результате мутации аффинность улучшилась, замена соответствующих мультиантител в популяции  $mAb$ .

6. Вычисление аффинности антител внутри части 2 мультиантитела. Суппрессия антител, аффинность которых больше заданного порога  $\delta_{\text{net}}$ .

Вычисление аффинности выполняется по выражению:

$$\text{Aff}_{ab_i-ab} = (1 + d_{ab_i-ab})^{-1}, \quad (9)$$

где  $d_{ab_i-ab}$  – расстояние между  $i$ -м антителом и остальными антителами части 2 мультиантитела:

$$d_{ab_i-ab} = \|ab_i - ab_j\| = \sqrt{\sum_{j=1}^M (v_i - v_j)^2}, i = \overline{1, M}. \quad (10)$$

Выполнение суппрессии путем удаления антител  $ab_i$  с аффинностью, большей заданного порога  $\delta_{\text{net}}$ , позволяет уменьшить количество нейронов в скрытом слое и устранить, таким образом, избыточность.

7. Проверка критерия останова. В качестве критерия останова используется либо достижение заданного порога аффинности, либо достижение заданного количества поколений работы алгоритма. Результатом работы алгоритма будет мультиантитело с лучшей по популяции аффинностью, содержащее настроенные параметры НС и определяющее ее структуру.

Шаги 1-5 алгоритма соответствуют принципу клонального отбора. Алгоритм на данных этапах работает с обеими частями мультиантитела. Шаг 6 соответствует принципу сетевого взаимодействия. Если ранее мультиантитело обрабатывалось как обычное антитело, то на данном шаге работа выполняется только с частью 2 мультиантитела, которая состоит из отдельных антител, представляющих собой параметры  $v_m, m = \overline{0, M}$ .

При распознавании в режиме off-line уже обученная НС классифицирует объект как вредоносный или невредоносный по представленному ей набору найденных в объекте признаков и их рейтингов, при этом выполняются следующие действия:

1. Исполняемый файл исследуется на эмуляторе.

2. В протоколе исследуемого файла производится поиск фрагментов поведения вредоносных программ из библиотеки. Из библиотеки извлекаются рейтинги для найденных фрагментов. Рейтинги подаются на входы НС, которая выносит вердикт о принадлежности исследуемого объекта к классу вредоносных программ.

## 5. Моделирование работы ЭА

Экспериментальные исследования проводились с использованием специального программного обеспечения, которое эмулирует работу ЦП, API функций ОС и ее внутренних структур, и подходит для задачи мониторинга поведения программ и сбора необходимых данных. Для моделирования работы ЭА был выбран следующий набор инструментов:

1. Моделирование блока мониторинга проводилось с использованием эмулятора системы Microsoft Windows – iMUL. Данное программное обеспечение эмулирует работу ЦП, API функций ОС и ее внутренних структур и подходит для задачи мониторинга поведения программ и сбора необходимых данных.

2. Моделирование блока сравнения признаков проводилось с помощью специально разработанных для этого утилит Threader и Matcher. Данные утилиты предназначены для преобразования и исследования информации, получаемой от эмулятора iMUL. Threader является консольным приложением, входные данные для его работы – протокол эмулятора в текстовом виде. Выходом для этой программы являются текстовые файлы в ее рабочей папке с именами, которые соответствуют идентификаторам потоков. Matcher – так же является консольным приложением, выходные данные для его работы – файлы, созданные программой Threader.

3. Моделирование работы НС и ИИС проводилось при помощи программного пакета MATLAB R2013a, технологическая платформа которой способна моделировать работу НС с необходимой архитектурой, поддерживает обучение с учителем с использованием ИИС и подходит для моделирования блока принятия решений.

Первый этап работы предполагает запуск вредоносных объектов на эмуляторе и получение протоколов. Для эксперимента были взяты следующие вредоносные программы семейства троянских программ, предназначенных для похищения паролей, включая следующие модификации:

Trojan-PSW.Win32.Tepfer.kcoi;

Trojan-PSW.Win32.Tepfer.kcta;

Trojan-PSW.Win32.Tepfer.kcti;

Trojan.Win32.KillFiles.brrq;

Trojan.Win32.Bublik.axmx;

Trojan-Ransom.Win32.Foreign.dbdo.



Данные модификации были запущены на эмуляторе и для каждой из них был получен протокол. Полученные протоколы были проанализированы с помощью программы Threader, которая вычла из них служебную информацию о системных вызовах, не изменяющих систему. Отфильтрованные протоколы сравнивались попарно каждый с каждым при помощи специально разработанной утилиты Matcher. Результатом работы данной программы явилось множество общих для всех входных протоколов фрагментов (характерных поведенческих признаков). Программа выявила 13 признаков для семейства троянских программ, для которых был произведен подсчет их рейтингов встречаемости.

Была построена НС в виде трехслойного перцептрона для детектирования вредоносных программ семейства троянских программ, для которой сформирована обучающая выборка из полученных рейтингов встречаемости признаков во вредоносных и неопасных объектах. Обучение НС выполнено с использованием ИИС.

Была произведена классификация новых образцов программ с помощью созданной НС. В качестве тестовых программ для распознавания были представлены две вредоносные программы: 1) Trojan.OlympicGames и 2) Win32.Worm.Prolaco.S, и две неопасные программы: 3) Mirabilis ICQ и 4) Opera WebBrowser. Представленные программы были распознаны верно. Следовательно, разработанная НС с иммунным обучением успешно решает возложенную на нее задачу и способна распознавать новые модификации вредоносных программ.

## 6. Выводы

Решена актуальная задача выявления и распознавания как существующих, так и новых модификаций вредоносных программ на основе использования нейросетевого ЭА с иммунным обучением. Предложена модель ЭА, основными компонентами которой являются блок мониторинга, блок сравнения, библиотека признаков и блок принятия решений, который является основным компонентом ЭА, состоящим из НС, каждая из которых предназначена для распознавания вредоносных программ определённого семейства. Для обучения НС использована ИИС, в которой модель кодирования настраиваемых параметров представлена в виде адаптивного структурированного мультиантитела.

Проведены экспериментальные исследования на примере вредоносных программ семейства троянских программ, предназначенных для похищения паролей. Результаты моделирования показали, что предложенный нейросетевой ЭА с иммунным обучением способен распознавать новые модификации вредоносных программ.

**Литература:** 1. Шибяева Т.А., Щеглов А.Ю., Оголюк А.А. Защита от внедрения и запуска вредоносных программ // Вопросы защиты информации. 2011. № 2. С. 26-30. 2. Новиков Е.А., Краснопецев А.А. Сравнительный анализ методов обнаружения вторжений // Безопасность информационных технологий. 2012. № 1. С. 47-50. 3. Гаврилов А.В. Применение постоянно модифицирующихся нейронных сетей для защиты программного обеспечения // Нейрокомпьютеры, разработка, применение. 2008. № 1-2. С. 90-101. 4. Нейросетевая технология обнаружения сетевых атак на информационные ресурсы / Ю.Г. Емельянова, А.А. Талалаев, И.П. Тищенко, В.П. Фраленко // Программные системы: теория и приложения. 2011. Т. 2, № 3. С. 3-15. 5. Bezobrazov S., Golovko V. Artificial immune system approach for malware detection: neural networks applying for immune detectors construction // International journal of «Computing». 2008. Vol. 7, no. 2. P. 44-50. 6. Гаврилов А.В., Тихомиров А.В. Применение иммунных систем в целях защиты корпоративной информации от нецелевого использования // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2010. Т. 108. № 7. С. 154-163. 7. Zekri M., Souici-Meslati L. Artificial Immune System for Intrusion Detection // Evolutionary Computation. 2011. V. 13, № 2. P. 145-153. 8. Кораблев Н.М., Кушнарев М.В. Модель эвристического анализатора вредоносных программ на основе искусственной иммунной сети // Системи обробки інформації. 2013. Вип. 8 (115). С. 216-222. 9. Войцехович Л.Ю., Головкин В.А., Куров Мадани. Применение мультиагентной системы с нейросетевым классификатором для выявления атак в трафике TCP/IP // Нейроинформатика. 2011. Часть 1. С. 190-201. 10. Dasgupta D., Nino L.F. Immunological computation, theory and applications. CRC Press, 2009. 298 p. 11. Korablev N., Sorokina I. Immune Approach for Neuro-Fuzzy Systems Learning Using Multiantibody Model // Springer Lecture Notes in Computer Science. 2011. Vol. 6825. P. 395-405. 12. Кораблев Н.М., Сорокина И.В., Русецкий А.И. Иммунный алгоритм обучения адаптивных нечетких нейронных сетей // Системи управління, навігації та зв'язку. 2008. Вип. 4 (8). С. 62-67.

Поступила в редколлегию 12.04.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Руденко О.Г.

**Кораблев Николай Михайлович**, д-р техн. наук, профессор кафедры ЭВМ ХНУРЭ. Научные интересы: интеллектуальная обработка информации. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 7021-354.

**Кушнарев Максим Владимирович**, ассистент кафедры ЭВМ ХНУРЭ. Научные интересы: обнаружение и анализ вредоносных программ с использованием методов искусственного интеллекта. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 7021-354.

**Ужвий Денис Петрович**, магистрант кафедры ЭВМ ХНУРЭ. Научные интересы: искусственные нейронные сети. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 7021-354.

## МЕТРИКА ДЛЯ АНАЛИЗА BIG DATA

*ХАХАНОВ В.И., МИЩЕНКО А.С.,  
ОБРИЗАН В.И., TAMER BANI AMER*

Предлагается инфраструктура обеспечения параллельного анализа big data для поиска, распознавания и принятия решений на основе использования предложенной метрики киберпространства. Используется метрика анализа киберпространства (big data), которая характеризуется наличием единственной логической хог-операции для определения киберрасстояния путем циклического замыкания не менее одного объекта, что дает возможность на порядок повысить быстродействие анализа данных.

### 1. Введение

Киберфизическая система призвана сделать активной концепцию big data, рассматривая большие данные во взаимодействии с киберсистемами (облаками) управления, ориентированными на поиск, распознавание и принятие решений. Структурное содержание CPS – совокупность коммуникационно связанных реальных и виртуальных компонентов с выраженными функциями адекватного физического цифрового мониторинга и оптимального облачного компьютерного киберуправления для обеспечения качества жизни, продукции, процессов или сервисов в заданных условиях ограничений на время и ресурсы. CPS включает компоненты: Cyber Control, Internet of Things или Cloud, Security, Intelligence, Big Data and Services, Digital Monitoring, Cyber Managing, Physical Smart Everything, Nature, Social, and Tech World. Регуляторные отношения (Relationship) между компонентами CPS формируются законами, уставами предприятий и организаций, морально-этическими правилами поведения внутри социальной группы. Направление движения RoadMap – Harmony of Human, Nature and Tech киберфизической системы человечества можно определить как достижение такого интегрального уровня развития киберфизических компонентов, который обеспечит гармонию жизни человека с природой и техникой (созданным миром – Created World).

Big Data – технологическая культура киберпространства, направленная на формирование динамически развивающейся инфраструктуры киберфизической экосистемы планеты путем семантической структуризации больших потоков (объемов) гетерогенных данных на основе использования интеллектуальных быстродействующих специализированных облачных фильтров параллельного мониторинга и метрического анализа извлекаемой информации для online управления физическими и виртуальными процессами.

Big data driven киберфизическая система управления физическими процессами имеет инновационные отличия от существующих решений, в частности, использование нецифровой булеан-метрики для структурного и скалярного оценивания процессов и явлений.

Цель big data – выращивание в киберпространстве культурного слоя инфраструктуры метрико-семантически упорядоченной легко доступной полезной reusable информации за счет разработки виртуальных облачных сервисов, выполняющих роль быстродействующих интеллектуальных фильтров в процессах поиска, распознавания и принятия решений.

Отсюда одна из задач технологической культуры big data – создание метрик измерения (дифференцирования) процессов и явлений в киберпространстве для построения быстродействующих семантических и оценивающих фильтров поиска полезной информации.

### 2. Метрика для анализа big data

Идея, способствующая повышению быстродействия анализа big data – убрать из виртуального компьютера «тяжеловесную» арифметику и трансформировать освободившиеся ресурсы для создания параллельного виртуального мультипроцессора векторно-логических вычислений в целях поиска, распознавания и принятия решений с помощью примитивных операций: and, or, not, хог. Специализация компьютерного изделия, ориентированная на использование только логических операций, дает возможность существенно (x100) повысить быстродействие решения неарифметических задач. Исключение арифметических операций, использование параллелизма алгебры векторной логики, мультипроцессорность архитектуры создают эффективную инфраструктуру, которая объединяет математическую и технологическую культуру для решения прикладных задач анализа киберпространства. Рыночная привлекательность логического виртуального мультипроцессора (Logical Virtual MultiProcessor – LVMP) определяется сотнями старых и новых логических по своей природе задач, которые в настоящее время решаются не всегда неэффективно на избыточных универсальных компьютерах с мощными арифметическими процессорами.

Цель исследования – существенное повышение быстродействия процедур поиска, распознавания и принятия решений путем мультипроцессорной и параллельной реализации ассоциативно-логических векторных операций для анализа больших данных в векторном логическом пространстве без использования арифметических операций.

Для достижения поставленной цели необходимо разработать неарифметическую метрику оценивания векторно-логических решений в кибернетическом big data пространстве.

Объектом исследования является инфраструктура процессов поиска, распознавания и принятия решений в big data пространстве на основе использования алгебры векторной логики, квантовых структур данных, вычислительной архитектуры анализа ассоциативно-логических структур данных и неарифметического интегрального критерия качества.

В процессе исследований использованы источники научно-технической информации: ассоциативно-ло-

гические структуры данных для решения информационных задач [2]; аппаратная платформа векторно-логического анализа информации; модели и методы дискретного анализа и синтеза объектов киберпространства [3], а также кубитное представление дискретных объектов [1].

Дискретное векторно-логическое пространство (киберпространство) – совокупность взаимодействующих по соответствующей метрике информационных процессов и явлений, описываемых векторами логических переменных и использующих в качестве носителя компьютерные системы и сети.

Метрика – способ измерения расстояния в киберпространстве между компонентами процессов или явлений, описанных векторами логических переменных, задаваемых в булевом или булеановом (многозначном) алфавите. Расстояние в киберпространстве – это хог-отношение (симметрической разности) между отличным от нуля числом векторов, обозначающих компоненты процесса или явления, что отличает его от кодового расстояния по Хэммингу. Расстояние, производная (булева), степень изменения, различия или близости есть изоморфные понятия, связанные с определением отношения двух компонентов процесса или явления. Понятие близости (расстояния) компонентов в киберпространстве есть мера их различия. Процедуры сравнения, измерения, оценивания, распознавания, тестирования, диагностирования, идентификации есть способ определения отношения при наличии не менее, чем двух объектов.

Компонент пространства представлен  $k$ -мерным (двоичным) вектором  $a = (a_1, \dots, a_j, \dots, a_k)$ ,  $a_j \in \{0, 1\}$ , где каждая его координата определена в двоичном алфавите, 0 – «ложь», 1 – «истина». Нуль-вектор есть  $k$ -мерный кортеж, все координаты которого равны нулю:  $a_j = 0, j = \overline{1, k}$ .

Метрика  $\beta$  кибернетического пространства определяется единственным равенством, которое формирует нуль-вектор для хог-суммы расстояний  $d_i$  между ненулевым и конечным числом точек (объектов), замкнутых в цикл

$$\beta = \bigoplus_{i=1}^n d_i = 0, \quad (1)$$

где  $n$  – количество (целое число) расстояний между компонентами (векторами) пространства, составляющими цикл  $D = (d_1, \dots, d_i, \dots, d_n)$ ,  $d_i$  – вектор расстояния, соответствующий ребру цикла, соединяющему два компонента (вектора)  $a, b$  пространства, который далее обозначается без индекса как  $d(a, b)$ . Расстояние между двумя объектами (векторами)  $a$  и  $b$  есть производный вектор:  $d(a, b) = (a_j \oplus b_j)_1^k$ . Векторному значению расстояния соответствует норма – скалярное расстояние по Хэммингу между

двумя векторами – как число единиц вектора  $d(a, b)$ . Иначе: метрика  $\beta$  векторного логического двоичного пространства есть равная нуль-вектору хог-сумма расстояний между конечным числом точек (вершин) графа, образующих цикл. Сумма  $n$ -мерных двоичных векторов, задающих координаты точек циклической фигуры, равна нуль-вектору. Свертка пространства в нуль-вектор представляет интерес для многих практических задач, включая: диагностирование и исправление ошибок при передаче информации по каналам связи; поиск дефектов в цифровых изделиях на основе двузначных и многозначных таблиц неисправностей. Кроме того, на основе введенной метрики можно дать более формальное определение киберпространства, которое является векторно-логическим, нормируемым  $\beta$ -метрикой, где хог-сумма расстояний между конечным числом точек цикла равна нуль-вектору. Определение метрики ставит во главу угла не элементы множества, а отношения, что позволяет сократить систему аксиом (тождественности, симметрии и транзитивного треугольного замыкания) с трех до одной и распространить ее действие на сколь угодно сложные конструкции  $n$ -мерного логического пространства. Классическое задание метрики для определения взаимодействия одной, двух и трех точек в векторном логическом пространстве является частным случаем  $\beta$ -метрики при  $i=1, 2, 3$  соответственно:

$$M = \begin{cases} d_1 = 0 \leftrightarrow a = b; \\ d_1 \oplus d_2 = 0 \leftrightarrow d(a, b) = d(b, a); \\ d_1 \oplus d_2 \oplus d_3 = 0 \leftrightarrow d(a, b) \oplus d(b, c) = d(a, c). \end{cases} \quad (2)$$

Векторно-логический транзитивный треугольник (2) имеет полную аналогию численному измерению расстояния в метрическом  $M$ -пространстве, которое задается системой аксиом, определяющей взаимодействие одной, двух и трех точек в любом пространстве:

$$M = \begin{cases} d(a, b) = 0 \leftrightarrow a = b; \\ d(a, b) = d(b, a); \\ d(a, b) \oplus d(b, c) \geq d(a, c). \end{cases} \quad (3)$$

Специфика аксиомы треугольника (3) метрического пространства заключается в численном (скалярном) сравнении расстояний трех объектов, когда интервальная неопределенность ответа – две стороны треугольника могут быть больше либо равны третьей – малоприспособна для определения точной длины последней стороны. Векторно-логическое пространство устраняет данный недостаток, полностью исключает степень неопределенности в бинарном отношении детерминированных состояний процессов или явлений. В этом случае численная неопределенность третьей стороны треугольника в векторном логическом пространстве приобретает форму точного двоичного вектора, который характеризует расстояние между двумя объектами и вычисляется на основе знания расстояний двух других сторон треугольника:

$$d(a, b) \oplus d(b, c) = d(a, c) \rightarrow d(a, b) \oplus d(b, c) \oplus d(a, c) = 0.$$

*Пример 1.* Имеется пять точек в векторном пространстве: (000111, 111000, 101010, 010101, 110011). Замыкание этих точек в цикл дает следующие стороны-расстояния в пятиугольнике: (111111, 010010, 111111, 100110, 110100).

Покоординатное сложение всех векторов дает результат (000000). Практическая значимость данного факта заключается в возможности восстановления любого расстояния в замкнутом цикле, если известны (n-1) сторон фигуры. Для треугольника это означает восстановление третьей стороны по известным двум. Если же создать из треугольников замкнутое логическое пространство, то можно сэкономить 66% от объема данных, который формирует все расстояния в логическом пространстве.

Метрика  $\beta$  кибернетического многозначного векторно-логического пространства есть вектор, равный значению  $\emptyset$  по всем координатам, полученный путем применения симметрической разности расстояний между конечным числом точек, образующих цикл:

$$\beta = \Delta_{i=1}^n d_i = \emptyset, \quad (4)$$

где каждая координата вектора, соответствующего объекту, определена в алфавите, составляющем булеан на универсуме примитивов мощностью  $p$ :  $a = (\alpha_1, \dots, \alpha_j, \dots, \alpha_k), m = 2^p$ .

Равенство пустому вектору симметрической разности покоординатного теоретико-множественного взаимодействия (4) подчеркивает равнозначность компонентов (расстояний), участвующих в формировании уравнения, где единственная координатная операция  $d_{i,j} \Delta d_{i+1,j}$ , используемая, например, в четырехзначной модели Кантора  $A = \{0, 1, x, \emptyset\}, x = \{0, 1\}$ , определяется соответствующей таблицей:

$\Delta$	0	1	x	$\emptyset$
0	x	1	0	
1	x	$\emptyset$	1	
x	1	0	x	
$\emptyset$	0	1	x	

$\cap$	0	1	x	$\emptyset$
0	0	$\emptyset$	0	
1	$\emptyset$	1	1	
x	0	1	x	
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	

$\cup$	0	1	x	$\emptyset$
0	0	x	x	0
1	x	1	x	1
x	x	x	x	x
$\emptyset$	0	1	x	$\emptyset$

a	0	1	x	$\emptyset$
$\tilde{a}$	1	0	$\emptyset$	x

 $(5)$

Здесь также приведены таблицы истинности для других базовых теоретико-множественных операций (пересечение, объединение, дополнение), далее используемых по тексту. Число примитивных символов, образующих замкнутый относительно теоретико-множественных координатных операций алфавит, может быть увеличено. При этом мощность алфавита (булеана) определяется выражением  $m = 2^p$ , где  $p$  – число примитивов. Для практического использования введенной метрики киберпространства далее предлагается доказательный переход от численной характеристики бинарного отношения объектов, объединяющей

три скалярные оценки их взаимодействия, к чисто векторно-логическому критерию качества отношения двух объектов.

*Пример 2.* Замыкание любых сколь угодно сложных конструкций или фигур (линии, плоскости, кубы произвольной мерности) в киберпространстве. Пусть имеются векторы, заданные в алфавите Кантора  $\{0, 1, X\}$ :  $\{010XXX10, 10X00XX1, XX0011XX, 1100XX00\}$ . Расстояния между ними определяются на основе использования  $\Delta$  – операции симметрической разности (XOR-функция, заданная в алфавите Кантора). Кубы, задающие расстояния между исходными векторами, вычисленные путем применения введенной координатной операции, имеют следующий вид:

	0	1	0	X	X	X	1	0
$\Delta$	1	0	X	0	0	X	X	1
=	X	X	1	1	1	$\emptyset$	0	X

	1	0	X	0	0	X	X	1
$\Delta$	X	X	0	0	1	1	X	X
=	0	1	1	$\emptyset$	X	0	$\emptyset$	0

	X	X	0	0	1	1	X	X
$\Delta$	1	1	0	0	X	X	0	0
=	0	0	$\emptyset$	$\emptyset$	0	0	1	1

	1	1	0	0	X	X	0	0
$\Delta$	0	1	0	X	X	X	1	0
=	X	$\emptyset$	$\emptyset$	1	$\emptyset$	$\emptyset$	X	$\emptyset$

Естественно, что XOR-сумма всех расстояний между фигурами или объектами, образующими замкнутый цикл в киберпространстве, равна пустому вектору:

$\Delta$	X	X	1	1	1	$\emptyset$	0	X
	0	1	1	$\emptyset$	X	0	$\emptyset$	0
	0	0	$\emptyset$	$\emptyset$	0	0	1	1
	X	$\emptyset$	$\emptyset$	1	$\emptyset$	$\emptyset$	X	$\emptyset$
=	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$

*Пример 3.* Стрельба по мишени может быть интерпретирована взаимодействием двух матриц, в результате чего появляется третья, идентифицирующая успешность выполненной операции, которая имеет структурный и скалярный эквиваленты, необходимые для online коррекции действий киберсистемы управления, направленных на достижение идеального результата при использовании минимальных временных и материальных затрат:

X	X	X	X	X
X	1	0	1	X
X	0	0	0	X
X	1	0	1	X
X	X	X	X	X

$\emptyset$	$\emptyset$	X	X	X
$\emptyset$	$\emptyset$	0	1	X
$\emptyset$	$\emptyset$	0	0	X
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$

X	X	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
X	1	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
X	0	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
X	1	0	1	X
X	X	X	X	X

В данном примере структура результирующей матрицы показывает области, подлежащие уничтожению, а также какого типа снаряды должны быть использованы при стрельбе. Кроме того, нетрудно посчитать эффективность произведенного выстрела, как отношение пора-

женной области к совокупному пространству с учетом значимости (мощности подмножества примитивных символов) каждой координаты матрицы для выбранной цели:

$$\Omega = \frac{\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,m} M_{ij}^p \times k_i}{\sum_{i=1,n} M_{ij} \times k_i} = \frac{14}{41} = 0,341.$$

### 3. Выводы

Существующие программные продукты и публикации практически не предлагают ассоциативно-логических технологий поиска, распознавания и принятия решений в дискретном информационном пространстве, состоящем из big data. Практически все они используют универсальную систему команд современного дорогостоящего процессора с математическим сопроцессором. В то же время, аппаратные специализированные средства логического анализа, являющиеся их прототипами [15], как правило, ориентированы на побитовую или не векторную обработку информации.

Фактическая реализация подхода основана на предложении инновационных моделей и методов, использующих идею векторно-логической метрики киберпространства.

Метрика анализа киберпространства (big data), которая характеризуется использованием единственной логической хог-операции для определения кибер-расстояния путем циклического замыкания не менее одного объекта, что дает возможность на порядок повысить быстродействие анализа big data и подсчет структурных критериев качества взаимодействия информационных объектов на основе использования векторных логических операций для точного поиска, распознавания образов и принятия решений.

Будущие исследования направлены на проектирование big data driven cyber physical systems, которые ориентированы на постоянную метрико-семантическую реструктуризацию киберпространства в целях удобного извлечения знаний, а также на преобразование социальных отношений неприродного мира путем передачи управления от человека к облачным сервисам.

**Литература:** 1. *Бондаренко М.Ф., Хаханов В.И., Литвинова Е.И.* Структура логического ассоциативного мультипроцессора // Автоматика и телемеханика. 2012. № 10. С. 71-92. 2. *Ariane Hellinger, Ariane Hellinger, Heinrich Seeger.* Cyber-Physical Systems. Driving force for innovation in mobility, health, energy and production. Acatech. National Academy of Science and Engineering. 2011. 48p. 3. *Hahanov V.I., Litvinova E.I., Chumachenko S.V.* et al. Qubit Model for solving the coverage problem // Proc. of IEEE East-West Design and Test Symposium. Kharkov. 14-17 September, 2012. P.142-144.

Поступила в редколлегию 11.05.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Чумаченко С.В.

**Хаханов Владимир Иванович**, декан факультета КИУ, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование и тестирование вычислительных систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, теннис, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +380 57 70-21-326, E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

**Обризан Владимир Игоревич**, старший преподаватель кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: облачные технологии, программирование мобильных платформ. Увлечения: путешествия. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +380 57 70-21-326, E-mail: Volodymyr.obrizan@gmail.com.

**Мищенко Александр Сергеевич**, аспирант кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: облачные технологии, web-программирование. Увлечения: путешествия. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +380 57 70-21-326, E-mail: santific@gmail.com.

**Tamer Bani Amer**, магистрант ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование и тестирование вычислительных систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +380 57 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.



## ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ТРЕНИРОВКИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРЯМОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ НАСТРОЕК ДИСКРЕТНОГО РЕГУЛЯТОРА

КОНОХ И.С.

Излагается подход к созданию регулятора, работающего с дискретными отчетами сигнала рассогласования, как искусственной нейронной сети прямого распространения. Оптимизация настроек производится при помощи специального алгоритма, базирующегося на анализе функционала качества, вычисляемого на протяжении переходного процесса. Разработанное программное обеспечение позволяет оптимизировать регуляторы такого типа, визуализировать и анализировать качество процессов управления.

### 1. Введение

Нейросетевой подход к формированию алгоритмов автоматического регулирования относится к классу интеллектуальных технологий управления и позволяет реализовать любой необходимый нелинейный алгоритм управления, если существует возможность создания базы экспериментальных и контрольных данных путем многократного проведения модельных или натуральных экспериментов.

Существует несколько причин, которые обуславливают перспективы применения нейронных сетей для задач управления:

– корректный выбор нейронной модели и достаточный объем обучающей выборки избавляет от необходимости использовать аппарат математического анализа как в классических методах адаптивного и оптимального управления;

– нелинейные функции активации позволяют реализовать нелинейные зависимости входных и выходных сигналов, что очень важно для решения задач управления с существенно нелинейными процессами, для которых традиционные методы не обеспечивают лучших решений во всех режимах работы;

– для применения традиционных методов оптимизации управляющих алгоритмов необходим большой объем информации об объекте управления в аналитической форме;

– способность искусственных нейронных сетей к самообучению, что обеспечивает повышение рабо-

тоспособности даже при наличии исходных неопределенностей;

– высокая степень параллельности в нейронных сетях позволяет осуществлять быстрые методы обработки (особенно при использовании специализированных аппаратных средств), причем повреждения отдельных звеньев не критичны для работы нейроконтроллеров в целом.

Известен ряд подходов к способам построения и обучения систем управления на основе искусственных нейронных сетей, обобщающие варианты их построения. Это обучающаяся адаптивная система, включающая в свою структуру один ассоциативный поисковый и один адаптивный критический элемент, построенные как нейронные сети прямого распространения, исследованные А. Г. Барто (A. G. Barto) [1].

Схема нейронного управления на основе инверсно-прямой модели: сначала нейронная сеть обучается на основании инверсной модели объекта управления, а затем может быть донастроена на непосредственное управление этим объектом.

В исследованиях Д. Псалтиса (D. Psaltis) приведены архитектуры обобщенного и специализированного обучения [1]. В архитектуре обобщенного обучения (рис. 1) сеть обучается автономно, с использованием образцов, полученных по характеристикам разомкнутого или замкнутого объекта управления. Обученная таким образом сеть настраивается на работу как контроллер объекта управления, подобно обычной системе, использующей обратную связь и реагирующей на отклонение [1].

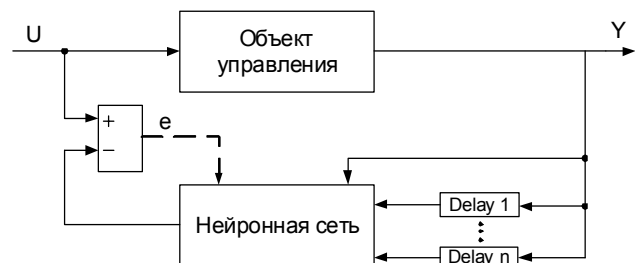


Рис. 1. Архитектура обобщенного обучения

Архитектура специализированного обучения (рис. 2) используется для «управляемого целью» обучения сети; при этом ошибка выполнения распространяется по сети в обратном направлении при каждой выборке.

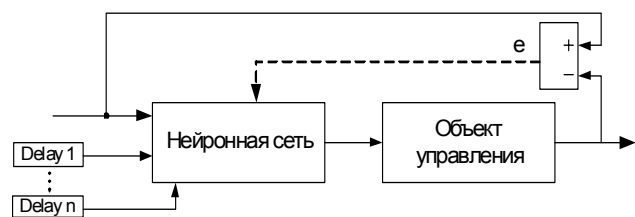


Рис. 2. Архитектура специализированного обучения

Однако при этом нужно знать все частные производные объекта управления в текущей точке, представленные определителем Якоби. Вместо элементов якобиана могут использоваться знаки этих элементов, которые представляют собой направления влияния параметров управления на выходы объекта управления.

Архитектура использует вариант алгоритма обратного распространения, называемый «обратное распространение во времени». Для управления объектом применяются две нейронные сети: в качестве эмулятора и контроллера. Сеть-эмулятор может быть обучена отдельно динамике объекта управления. Данная архитектура обеспечивает более точное непосредственное обучение нейроконтроллера, поскольку ошибка может распространяться в обратном направлении через эмулятор в каждой выборке (рис. 3).

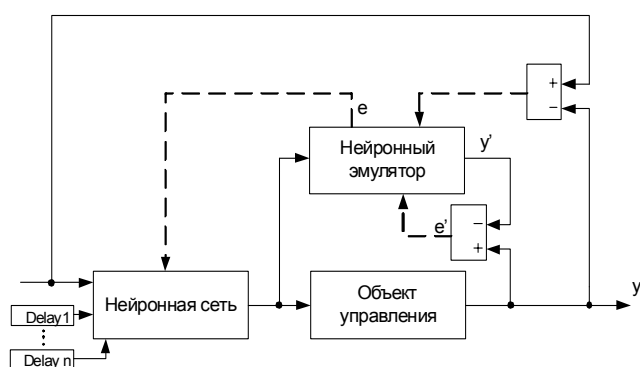


Рис. 3. Архитектура, использующая алгоритм обратного распространения

Для построения эффективных систем регулирования целесообразно исследовать минимальную конфигурацию нейроконтроллера, без внутренних обратных связей, с нейронами, имеющими единичную с ограничениями передаточную функцию. В качестве входных сигналов будут подаваться временные отсчеты сигнала рассогласования. Выходной нейрон осуществляет финальную обработку и формирует сигнал управления на силовой преобразователь. Обучение сети для управления объектами, описанные передаточными функциями первого и второго порядков, целесообразно выполнять по архитектуре специализированного обучения, анализируя цель управления.

## 2. Структура и обучение нейронного регулятора

В качестве тестовой системы был использован лабораторный стенд [2] с механически связанными приводами систем преобразователь частоты–асинхронный двигатель и широтно-импульсный преобразователь–двигатель постоянного тока независимого возбуждения. Асинхронный двигатель 4AM56B4У3 мощностью 0,18 кВт имеет скорость вращения 1370 об/мин. Максимальный/минимальный ток – 1,15/0,67 А. Система управляемого привода постоянного тока выступает в качестве формирователя механической нагрузки для асинхронного двигателя и может обеспечить, в том числе, вентиляционную, насосную и экскаваторную характеристики.

На этапе проведения модельных экспериментов (рис. 4) переходная характеристика системы асинхронных двигателя и частотного преобразователя, в котором ограничена интенсивность разгона, аппроксимирована аperiодическим звеном первого порядка:

$$W = \frac{1}{T_s + 1}$$

Для определения минимально допустимого количества нейронов была составлена линеаризованная модель. В общем виде для систем замкнутого управления управляющее воздействие должно формироваться на основе информации о рассогласовании, производной рассогласования, интеграла рассогласования. Таким требованиям отвечает дискретная структура второго порядка, выход которой интегрируется. Два звена временной задержки (0,0218 и 0,011с) обеспечивают нейронную сеть информации об изменении рассогласования во времени, фактически позволяя учитывать значение производных. Структура и способ включения нейронной сети приведены на рис.5. Структура нейронов N2 и N3 идентична N1.

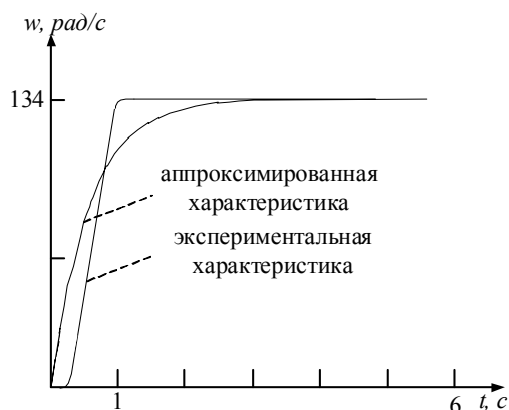


Рис. 4. Переходные характеристики системы силовой преобразователь – электрический

Для оптимизации был разработан алгоритм настройки нейронного регулятора:

1. Установка значений весовых коэффициентов  $a_1$ - $a_5$  в 1,  $a_6$  в 0.
2. Настройка коэффициентов  $a_1$ - $a_3$  (основная настройка).
  - 2.1. Произвольно определить направление приращения весовых коэффициентов (лучше выбирать два положительных и один отрицательный).
  - 2.2. Изменить значения весовых коэффициентов приращением на 1-5 единиц.
  - 2.3. При расхождении процесса или слишком большом увеличении значения критерия перейти к п. 2.1.; если различия отсутствует, перейти к следующему пункту.
  - 2.4. Поочередно инкрементировать веса по 0-3 единицы в заданных направлениях.

2.5. При улучшении переходной характеристики продолжить изменять веса до достижения удовлетворительной переходной характеристики с минимальным значением интегрального критерия.

3. Настройка коэффициентов a4-а6.

3.1. Определить направление изменения весовых коэффициентов (как правило, направление a1 совпадает с a4, a2 с a5, a3 с a6).

3.2. Выполнить пункты 2.1-2.5 для коэффициентов a4-а6.

4. Корректировка системы путем увеличения каждого весового коэффициента в диапазоне [3; -3].

5. При уменьшении интегрального критерия – перейти к п. 4.

6. Если очередная эпоха закончилась – запомнить значения критерия.

7. Если приращение критерия от предыдущей эпохи больше порогового значения, то перейти к п.2, иначе – конец.

### 3. Программная реализация

Программное обеспечение было разработано в среде LabView 8.5 на языке блок-диаграмм G. Кроме функций графического интерфейса пользователя программа реализует функции вычисления выхода нейрорегулятора, эмулярование объекта управления и анализа качества переходных процессов (рис. 6).

Можно выбрать тип задающего воздействия: единичный импульс, единичный импульс с циклическим

повторением, двухуровневый сигнал с циклическим повторением. Оценивания качества регулятора выполняется по трем интегральным критериям: максимальная точность, максимальная точность с ограничением по скорости изменения управляемой величины, максимальное быстродействие. Переключаться между типом интегральных критериев на осциллографе можно в любое время. На числовом индикаторе верхний ряд указывает на текущий интегральный критерий, нижний – на разницу между текущим и предыдущим значением критериев. Зеленый цвет индикаторов – критерий не изменился или улучшился, красный – процесс регулирования ухудшился (см.рис. 6) [3,4].

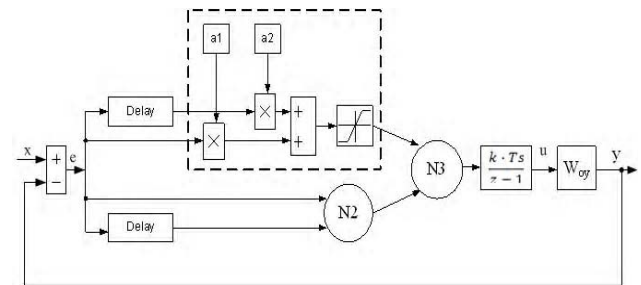


Рис. 5. Структурная схема включения нейронного регулятора: x – входной сигнал, y – выходной сигнал, WOU – передаточная функция объекта управления, e – ошибка регулирования, u – сигнал управления; N1, N2 – нейроны входного слоя, N3 – выходной слой; a1, a2 – весовые коэффициенты нейронов

Наиболее характерные блоки, в том числе, что показаны на рис. 7-8, разрабатывались самостоятельно.

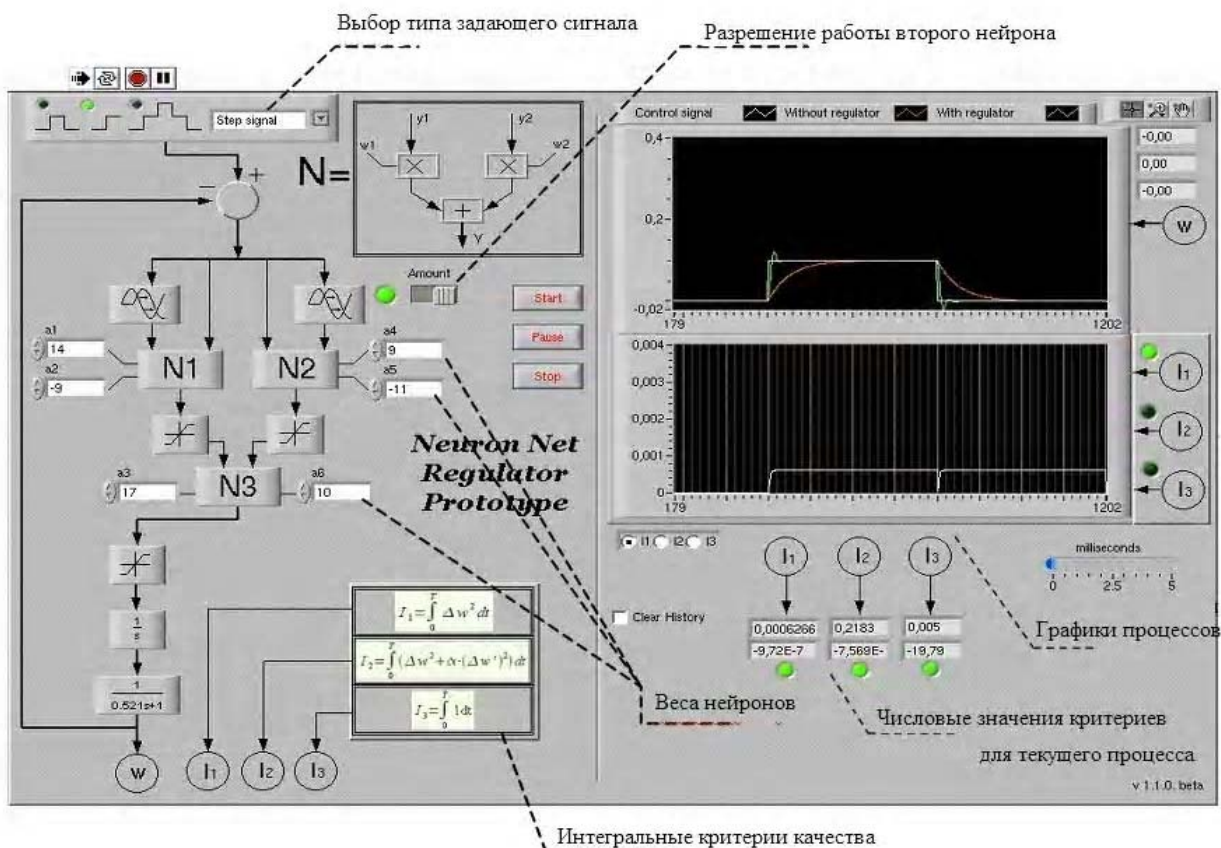


Рис. 6. Интерфейс программы при одиночном задающем сигнале



Первый и второй нейроны принимают на одном из входов задержанный сигнал. Блок нейрона с задержкой включает в себя входы для задания весовых коэффициентов, подачу сигнала и задержку на время, а также функцию активации.

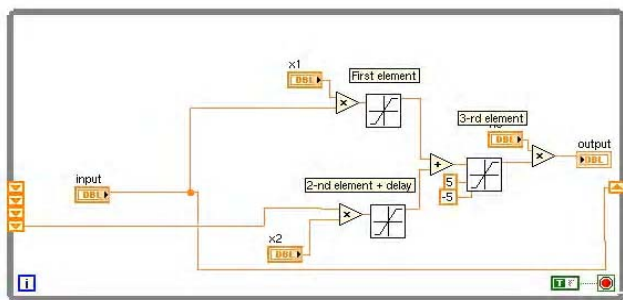


Рис. 7. Нейрон со звеном чистого запаздывания

Блок вычисления разницы между текущим и предыдущим интегральным критерием (рис. 8) вычисляет разницу интегральных критериев для предварительного и текущего запусков, выводит ее на индикатор, а также показывает направление изменения с помощью светового индикатора. Блок состоит из элементов интегрирования квадрата рассогласования и производной рассогласования. Блоки сравнения нужны для сброса интегратора при изменении задающего воздействия.

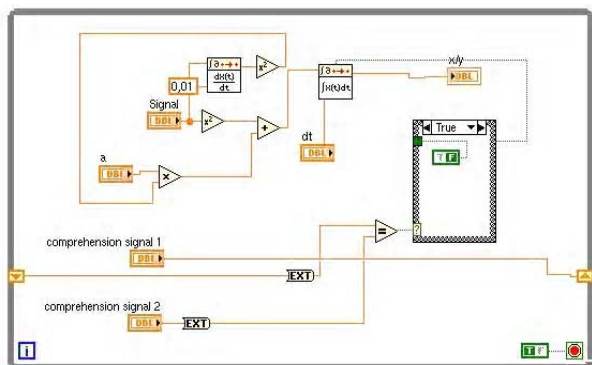


Рис. 8. Блок вычисления интегрального критерия максимальной точности с ограничением по скорости изменения управляемой величины

#### 4. Исследование качества работы нейронного регулятора

По данным алгоритма поэтапно была проведена настройка весовых коэффициентов сети. Каждый из этапов приведен в табл. 1.

Оптимальные настройки были достигнуты на шестом и седьмом этапах. При этом шестой показывал меньший уровень перерегулирования и ошибки, а седьмой – меньше времени доходил до установленного режима.

Оптимизированные весовые коэффициенты нейрорегулятора на шестом и седьмом этапах показаны в табл. 2.

Были проведены исследования при изменении параметров объекта управления. Система выдерживает

изменение характеристик объекта управления без потери устойчивости и с приемлемыми показателями регулирования.

Для проверки качества работы регулятора были проведены натурные эксперименты, в которых реальный объект управления совместно с нагрузкой имел колебательный характер:

Таблица 1  
Изменение интегральных критериев в процессе настройки регулятора

№ этапа	Интегральный критерий	
	максимальной точности	максимальной точности с ограничением по скорости изменения управляемой величины
1	0,0036010	0,1842
2	0,0018160	0,1962
3	0,0010460	0,2320
4	0,0007771	0,2207
5	0,0007588	0,2255
6	0,0007870	0,1923
7	0,0006266	0,2183

Таблица 2  
Оптимизированные настройки нейрорегулятора

Весовой коэффициент	Критерий макс. точности	Критерий макс. точности с ограничением по скорости
a1	9	14
a2	-6	-9
a3	10	17
a4	8	9
a5	-10	-11
a6	11	10

Используя описанный выше алгоритм, были определены следующие коэффициенты регулятора для колебательного объекта управления (табл. 3).

Таблица 3  
Весовые коэффициенты искусственной нейронной сети для реального объекта управления

a1	a2	a3	a4	a5	a6
6,625	-6,16	10	4,45	-4,985	5

В результате эксперимента (сглаженный переходный процесс показан на рис. 9) было определено, что при кардинальном изменении характера объекта управления, используя изложенный выше алгоритм, можно

настроить нейрорегулятор с упрощенной структурой на достаточное качество переходного процесса.

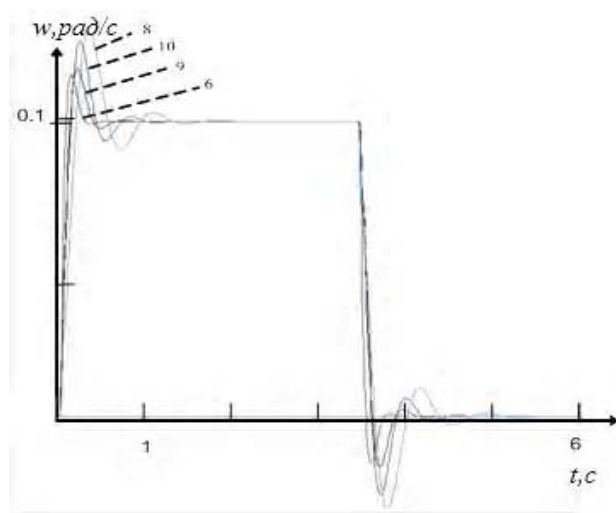


Рис. 9. Оптимизация переходных характеристик для объекта с колебательными свойствами

По результатам исследований можно вывести следующие зависимости для звеньев временной задержки:

$$\text{Delay}_1 = \frac{T}{16}, \quad \text{Delay}_2 = \frac{\text{Delay}_1}{1.98}.$$

**ВЫВОДЫ.** Рассмотрены вопросы синтеза одноконтурного регулятора с применением принципов тренировки искусственных нейронных сетей. Разработано программное обеспечение в среде LabView 8.X для исследования качества управления. Достигнутые результаты можно использовать для настройки регуляторов дискретного и непрерывного действия в случаях управления электромеханическими объектами, которые аппроксимируются аperiodическими звеньями или звеньями второго порядка с незначительной колебательностью. По сравнению с дискретными регуляторами разработанная система имеет минимальный порядок.

Программное обеспечение позволяет наглядно продемонстрировать процессы тренировки искусственной нейронной сети и работу регулятора угловой скорости, что повышает эффективность обучения теории автоматического управления и уменьшает трудоемкость настройки реальных систем.

Достигнуты лучшие показатели качества:

– при настройке нейрорегулятора по интегральному критерию  $I_1 = 0,0006266$ ;

– при настройке нейрорегулятора по интегральному критерию  $I_2 = 0,2183$ ;

– время регулирования не превышает – 0,6 с;

– перерегулирование не превышает – 20%;

– при изменении параметров объекта управления на 25-30% интегральный критерий по точности ухудшается на 16-47%.

В некоторых случаях критерий по точности может улучшаться, но тогда интегральный критерий по точности с ограничением по скорости будет ухудшаться до 50%.

Доказано, что изменение характера объекта управления с аperiodического на колебательный при изменении значений весовых коэффициентов, согласно предлагаемому алгоритму, позволяет оставить замкнутую систему устойчивой без изменения структуры регулятора. Улучшение динамических показателей качества регулирования для объектов второго порядка и выше требует добавления к существующей структуре новых нейронов и поиска оптимальных временных задержек для формирования входных сигналов.

Программные модули можно использовать для управления электроприводом с системами преобразователь частоты–асинхронный двигатель и широтно-импульсный преобразователь–двигатель постоянного тока.

**Литература:** 1. *Omatu S., Khalid M., Yusof R.* Neuro-Control and its application. Corrected edition, Springer: 1996. 255 с. 2. *Конох І.С., Найдя В.В., Гула І.С.* Комп'ютеризований лабораторний комплекс для дослідження інтелектуальних цифрових систем керування електроприводом // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського. Вип. 4/2008 (51), ч. 1. 2008. С. 17 – 21. 3. *Тревис Дж.* LabViEW для всех: Пер. с англ. Клушин Н. А. М.: ДМК Пресс; Прибор Комплект. 2005. 544 с. 4. *Виноградова Н.А., Листратов Я.И., Свиридов Э.В.* Разработка прикладного программного обеспечения в среде LabViEW: Учебное пособие. М.: Издательство МЭИ. 2005. 245 с.

Поступила в редколлегию 26.04.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Оксанич А.П.

**Конох Игорь Сергеевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры информационно-управляющих систем КрНУ им. М. Остроградского. Научные интересы: автоматизация, интеллектуальные системы управления. Адрес: Украина, 39600, Кременчуг, ул. Первомайская, 20, тел.: (05366) 30157. E-mail: kis\_saue@mail.ru.

## ЗАЩИТА ОТ СПАМА В ИНТЕРНЕТ ПРОСТРАНСТВЕ

АБДУЛЛАЕВ В.Г.

Рассматриваются основные методы и правила для эффективной борьбы с рекламными сообщениями. Описываются методы фильтрации почтовых сообщений на стороне сервера. Предлагаются варианты противодействия способам обхода методов фильтрации и защиты от рекламных сообщений.

Ключевые слова: спам, рассылка рекламных сообщений, методы фильтрации, использование e-mail адресов в Интернете.

### Введение

СПАМ – это сообщения рекламного характера, которые доставляются без согласия пользователя, а также сообщения для мошеннических целей. Количество пользователей в сети Интернет с каждым годом увеличивается, в 2011 году – 718 миллионов, а в 2012 уже 1,3 миллиарда пользователей Интернет [1]. Это связано со многими факторами, такими как удешевление оборудования (как результат – цена доступа к сети снижается), активное распространение планшетных компьютеров и смартфонов (пользователи мобильного интернета).

Доля спама в мировом трафике составляет почти 80% за 2011 год [2]. В 2012 году общее количество обнаруженных и удаленных сообщений составляет 65 миллиардов комментариев [3]. Как показывает статистика, уровень спама к концу 2012 года значительно возрос. На данный момент уровень спамовских комментариев превысил показатель 120 миллионов в день.

На рост спама повлияло массовое появление незащищенных сайтов, вики и форумов. Также люди, которые рассылают спам, начали активно использовать нелегальные методы, такие, как взлом сайтов, зара-

жение компьютеров пользователей для создания бот-нетов (сеть зараженных компьютеров и серверов, которые используются злоумышленниками в целях нанесения вреда) для рассылки спама. Значительный рост спровоцировало также увеличение трафика из Китая – это связано с продвижением подделок известных брендов.

С ростом популярности сервисов мгновенных сообщений и социальных сетей растет количество спама в данных сервисах. Также отмечается рост спама в смс-сообщениях.

Убытки, которые приносит спам, колоссальные. Это – время, перегруженность оборудования и как результат – снижение срока эксплуатации. Все это приводит к финансовым потерям как организаций, так и государственных учреждений.

### Постановка задачи

Цель - рассмотреть правила и разработать методы защиты e-mail от спама. Учитывая спам, который с каждым годом увеличивается в объеме и количестве, а также то, что усложняются приемы обхода разных методов защиты, необходимо постоянно совершенствовать методы защиты. Соблюдение простых правил обеспечит уменьшение количества спама. Также необходимо учесть спам, который публикуется на сайтах и форумах в комментариях. Задача – разработать противодействия способам обхода спам-фильтров.

### Правила использование e-mail адресов в Интернете

Один из надежных методов, который понизит количество спама на электронный адрес и затруднит получить адрес злоумышленниками - это соблюдение простых правил:

– Не следует публиковать свой электронный адрес на общедоступных сайтах в открытой форме. Можно использовать специальные символы, что затруднит его распознавание. Также можно применять адрес в виде картинки.

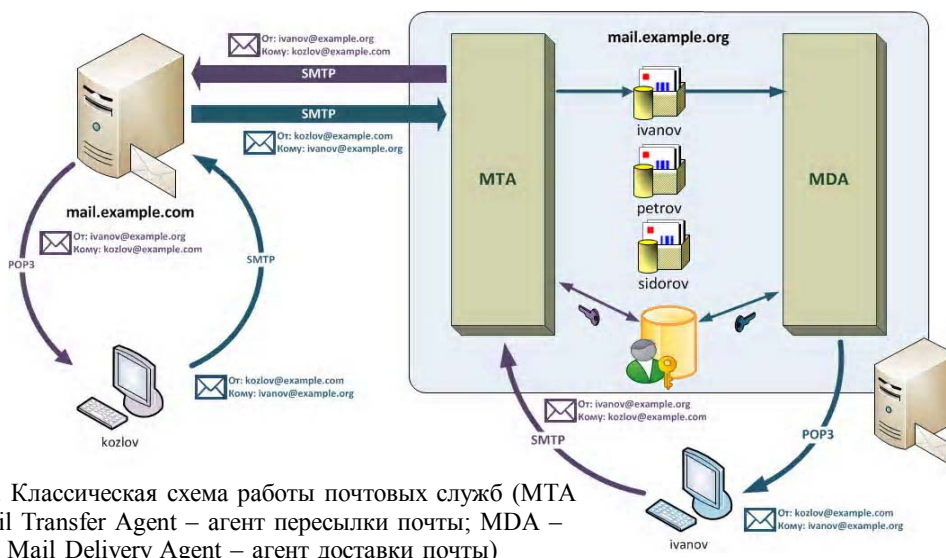


Рис. 1. Классическая схема работы почтовых служб (MTA – Mail Transfer Agent – агент пересылки почты; MDA – Mail Delivery Agent – агент доставки почты)

– Большинство пользователей имеют аккаунты в социальных сетях. А учитывая последнюю тенденцию, что на сайтах очень часто используется авторизация через социальную сеть, в таком случае лучше воспользоваться аккаунтом социальной сети.

– Не стоит использовать адрес при регистрации на малоизвестных форумах и сайтах.

– Можно завести специальный адрес для регистрации на форумах и сайтах или использовать службы для получения одноразовых адресов, к примеру сервис - <http://mailinator.com/>.

– Не следует отвечать на спам или переходить по ссылкам из письма, в том числе на ссылку, что обеспечивает отписку от рассылки. Как правило, данными действиями подтверждается реальный адрес. Также не следует открывать вложения.

– Желательно отключить загрузку картинок, которые в письме, чтобы не отслеживалась активность пользователя.

– При получении ссылки от неизвестного человека или от контакта, который находится у вас в списке, но ссылка вызывает подозрение, лучше отказаться от перехода по ней.

– Необходимо создавать длинные имена адресов, к примеру, который состоит из фамилии и имени, чтобы исключить метод подбора адреса случайными генераторами.

Выполнение простых правил и осторожность обеспечивают частичную защиту от спама, а также от персонального компьютера, который может стать одним из узлов мошеннической сети.

### **Способы защиты e-mail адресов и Веб-страниц**

Для того чтобы защитить e-mail адреса, которые размещены на сайтах, есть разные способы и правила, которые реализуются исключительно технически. Самое главное - это защита от ботов (автоматических программ (скриптов), предназначенных для сбора информации или отправки сообщений).

На большинстве Веб-страниц есть формы обратной связи для написания обращений, жалоб и так далее, или в блогах, комментариях к статьям. Самым распространённым и относительно надёжным является размещение CAPTCHA (*Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart* – автоматизированный текст Тьюринга для определения различий компьютер или человек) [4]. В основе данного метода лежит такая задача, которую может решить только человек. К примеру, могут быть изображения искривлённых символов или изображения математической задачи, как правило сложение. Автоматические скрипты не могут распознать искаженный текст, но это может сделать человек. Также есть варианты модифицированных примеров, таких как посчитать количество рисунков с изображением определенного образа.

На данный момент существует достаточно способов обхода CAPTCHA:

– Создание базы данных ответов или получение базы данных нелегальным путем. Некоторые разработчики используют готовую базу данных заданий и ответов, т.е. задачи не генерируются случайным образом. Поэтому злоумышленники могут в ручном режиме сформировать базу данных или скачать ее. Противодействие – не создавать базы данных, а задания генерировать случайным образом.

– Неквалифицированное написание скрипта, что приведет при определенном формировании запроса к странице получать правильный ответ. Решение – использовать готовые скрипты, которые себя зарекомендовали как надежные, или обращаться к профессиональным исполнителям.

– Автоматическое распознавание возможно в том случае, если имеется неискаженная или не завуалированная картинка с заданиями. Также использование только одного метода маскировки задания. Это все способствует разработке метода автоматического распознавания. Решение – применять разные методы маскировки, которые будут меняться в произвольном порядке.

– Автоматический подбор вариантов ответов. Ответ на задание автоматически подбирается. Для защиты от данного метода служит блокировка IP-адреса или аккаунта на определенное время, при повторе – полная блокировка без восстановления.

– Ручное распознавание. Специальные сервисы, которые используют человеческий ресурс для распознавания. Данный способ обойти практически не реально. Если отслеживать с какого адреса или аккаунта приходят эти сообщения нужно временно заблокировать, а также ввести определенное время для ввода ответа. Как правило, используются разные данные, поэтому необходимо в ручном режиме модерировать сообщения.

Дополнительными методами борьбы с нежелательными сообщениями может быть запрет анонимных комментариев, разрешение комментариев только со стороны зарегистрированных пользователей или авторизация через социальные сети; использование надёжных скриптов, что обеспечивает минимальное количество проблем в безопасности системы; запрет прямых публикаций сообщений, разрешение публикаций только после одобрения администратором.

Можно также использовать фильтры для фильтрации сообщений по ключевым словам. Принцип действия данного скрипта в следующем: после того, как пользователь отправил сообщение, скрипт анализирует его, и если сообщение содержит ключевые слова или URL, которые есть в базе данных скрипта, сообщение не публикуется, а отправляется администратору на проверку.

## Методы фильтрации почты на почтовых серверах

Для фильтрации почтовых сообщений на сервере можно использовать черные списки, серые списки, выставлять рейтинг пользователю, фильтровать сообщения по домену отправителя, а также по ключевым словам в теме и теле письма (рис. 1).

Существуют черные списки e-mail адресов и IP – это списки, где включены данные пользователей и систем, которые были замечены в рассылке спама или вредоносных сообщений. Сервер при получении нового сообщения автоматически определяет, внесен ли пользователь в эти базы данных. Если в рейтинге они существуют, такие сообщения автоматически отправляются в папку спама или удаляются, в зависимости от настройки системы. Данные списки получили название DNSBL (DNS BlackList). Этот метод утратил свою актуальность из-за того, что злоумышленники, как правило, применяют пользовательские адреса и компьютеры. И после внесения их в данные списки пользователи долгое время не могут отправлять сообщения.

Также возможна автоматическая фильтрация (СПАМ-фильтры) как на стороне сервера, так и на стороне клиента. Один из подходов заключается в анализе содержимого письма (по ключевым словам), и в зависимости от содержания делается вывод. Один из применяемых методов – статистический анализ содержимого письма; как правило, используется байесовский метод фильтрации спама. Суть этого метода заключается в анализе слов в теле письма на возможность (вероятность) его отношения к спаму [5], после чего делается вывод. В начале использования данного метода необходимо провести обучение фильтра на выявление спама. При активном и правильном обучении эффективность фильтрации спама можно довести до 95%, но для этого необходимо постоянно проводить обучение.

В последнее время популярным стал метод серых списков. Суть его заключается в том, что при первой попытке отправить письмо сервер отвечает ошибкой. Программы для рассылки спама не умеют оперативно обрабатывать такие ситуации. Поэтому очень высокая вероятность того, что они находятся в черных списках. Данный метод дает эффективность до 90%.

Дополнительной мерой защиты от спама является запрос PTR – записи (рис. 2). PTR – запись связывает IP – адрес с именем домена. Запросив PTR, МТА примет почту только в случае совпадения IP с именем домена. Учитывая, что спам, как правило, приходит с IP, который не совпадает с именем домена, защита в данном случае достаточно эффективна.

### Дополнительные методы защиты

В почтовые сервера встраиваются модули для определения признаков массовой рассылки. Эти модули подсчитывают контрольную сумму письма и проверяют на серверах служб Razon и DCC. Если встреча-

ются с аналогичными контрольными суммами письма, большая вероятность, что это спам.

Ужесточаются требования к письмам отправителя: проверка доменного имени, обратного адреса, IP-адреса компьютера, с которого идет рассылка.

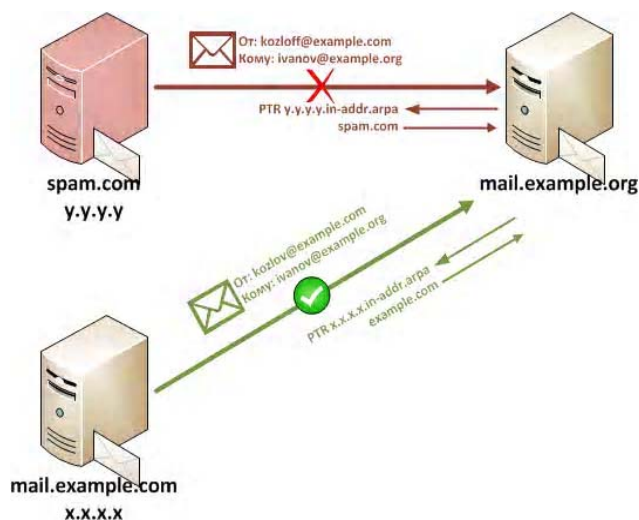


Рис. 2. Пример запроса PTR

### Альтернативные методы защиты

Каждое рекламное сообщение имеет в себе слова и слоганы, которые составляют части рекламного сообщения. К примеру: «купите», «лучшее предложение» и так далее.

Проведя анализ почтового сообщения, кроме темы сообщения, можно с точностью определить является оно рекламным или нет. Аналогично данному методу работают системы распознавания плагиата, когда ищутся части сообщения, которые взяты из других источников.

В данном методе есть ряд недостатков. Прежде всего, во время обучения системы оператор будет видеть чужие сообщения, проверяя соответствия оценки системы. Другая проблема – это защита конфиденциальной информации, но в случае корпоративного сектора это не является ключевой проблемой. Третья — затраты дополнительных ресурсов на обработку информации, увеличение затрат.

Но несмотря на ряд недостатков, данный метод может быть эффективным при борьбе со спамом.

### Выводы

Учитывая постоянный рост спама, можно сделать вывод, что данный метод продвижения товаров и услуг приносит выгоду заказчикам. Поэтому не стоит ожидать понижения количества спама в ближайшее время.

Выполнение простых правил поведения в сети Интернет значительно снизит объем получаемой почты. Все зависит от поведения пользователя. И за ним стоит выбор, следовать этим правилам или нет.

Достаточно эффективным и распространенным методом борьбы со спамом есть CAPTCHA. Как показывает статистика, в 2011 году ежедневно вводится приблизительно 200 миллионов CAPTCHA во всем мире [6]. Данный метод хорошо зарекомендовал себя в формах обратной связи – комментариях, но не дает гарантии полной фильтрации рекламных сообщений.

Использование специального программного обеспечения и методов повышает эффективность фильтрации сообщений. Но, как правило, все методы требуют постоянного совершенствования, потому что практически все, кто занимается рассылкой нежелательных сообщений, совершенствуют методы обхода систем защиты.

Нужно понимать, что спрос формирует предложение. Если предприниматели будут дальше заказывать рассылку спама, а пользователи откликаться на рекламные сообщения, спрос будет расти и объем спама также будет увеличиваться.

Не стоит забывать о юридических аспектах - в некоторых странах приняты законы об уголовной ответственности за рассылку спама.

Но простые правила поведения и использование эффективных методов защиты в совокупности принесут результат, и количество получаемого спама уменьшится. Также желательно постоянно проводить обучение систем на повышение их эффективности.

Комбинация перечисленных выше методов защиты даст значительное снижение нежелательных сообщений, а также снизит нагрузку на сервера и сетевой трафик, и не будет отнимать время у пользователей.

**Литература:** 1. *The statistics portal* <http://www.statista.com/statistics/74592/quarterly-worldwide-smartphone-sales-by-operating-system-since-2009/> 2. *Компьютеры и огротехника* <http://www.computery.ru/news/news2010.php?nid=8302> 3. *Spammy A .Year in Review* <http://blog.akismet.com/2012/12/21/a-spammy-year-in-review/> 4. *Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart* <http://ru.wikipedia.org/wiki/CAPTCHA> 5. *Байесовская фильтрация спама* [http://ru.wikipedia.org/wiki/Байесовская\\_фильтрация\\_спама](http://ru.wikipedia.org/wiki/Байесовская_фильтрация_спама) 6. *Welcome to the new TED.com* [http://www.ted.com/talks/lang/ru/luis\\_von\\_ahn\\_massive\\_scale\\_online\\_collaboration.html](http://www.ted.com/talks/lang/ru/luis_von_ahn_massive_scale_online_collaboration.html)

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Юсифов С.И.

Поступила в редколлегию 21.04.2014

**Абдуллаев Вугар Гаджимахмудович**, канд.техн. наук, доцент кафедры «Компьютерные технологии и программирование», Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия (АГНА), Институт систем управления НАНА. Научные интересы: информационные технологии, Веб-программирования, мобильные приложения. Увлечения и хобби: электронная коммерция, B2B, B2C проекты, научные книги, спорт. Адрес: AZ1129, Баку, ул. М.Гади, 53, кв. 81 тел: (99412)571 2428, (050)332 54 83 (моб). E-mail: [abdulvugar@mail.com](mailto:abdulvugar@mail.com)



## МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ СИНТЕЗУ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ПАРАЛЕЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ТА ЇХ НАЛАШТУВАННЯ У КОМП'ЮТЕРНОМУ ЗОРІ

ГРИЦИК В.В., ГРИЦИК В.В., БУРОВ Є.В.,  
ВОВК О.Б., РИШКОВЕЦЬ Ю.В., ЗОЗУЛЯ А.М.

Пропонуються математичні методи синтезу складних систем паралельної обробки даних та їх налаштування у комп'ютерному зорі на основі класифікованих функціональних можливостей.

### 1. Вступ

Існує багато різноманітних моделей обробки даних. Поряд з тим, для різних систем обробки даних, зокрема, складних, можна використовувати відомі методи, які за необхідності доповнити певними показниками якості.

А інколи необхідно суттєво модифікувати та уточнити існуючі методи для їхнього подальшого застосування до певного виду складних систем обробки даних.

Особливо це стосується процесу обробки даних для задач розв'язку складних проблем в системах комп'ютерного зору [2].

*Метою* дослідження є вивчення можливості розпаралелювання опрацювання інформації при синтезі складних систем обробки даних на рівні ярусно-паралельних структур алгоритму із застосуванням магістральних методів реалізації цього процесу в системах комп'ютерного зору.

### 2. Синтез складних систем паралельної обробки даних та їх налаштування у комп'ютерному зорі

Розглянемо можливість розпаралелення опрацювання інформації при синтезі складних систем опрацювання даних на рівні ярусно-паралельних структур алгоритму, застосування магістральних методів реалізації процесу.

Такий підхід дає можливість налаштування системи на реалізацію задач у заданому режимі обробки даних, що поступають. У цьому підході важливим є вибір основних операторів, що дозволяють здійснювати налаштування системи.

Розглянемо систему:

$$S_i \subset X_i \times Y_i, \quad (1)$$

і нехай  $X_i = \times\{X_{ij} : j \in I_{X_i}\}$ ,  $Y_i = \times\{Y_{ij} : j \in I_{Y_i}\}$ .

Позначимо через  $Z_{X_i}$  – декартовий добуток компонентних множин  $X_i$ , які можуть використовуватися для реалізації з'єднань систем; а через  $\bar{Z}_{X_i}$  – сімейство всіх компонентів множин  $X_i$  і позначимо через

$$\bar{X}_i^* = \{X_{ij} : X_{ij} \in \bar{X}_i \wedge X_{ij} \notin \bar{Z}_{X_i}\},$$

де  $\bar{X}_i$  – сімейство компонентних множин  $X_i$ ,

$$X_i^* = \times\{X_{ij} : X_{ij} \in \bar{X}_i \wedge X_{ij} \notin Z_{X_i}\} = \times\{X_{ij} : X_{ij} \in \bar{X}_i^*\}.$$

Отримаємо:

$$X_i = X_i^* \times Z_{X_i}. \quad (2)$$

Аналогічно

$$Y_i = Y_i^* \times Z_{Y_i}. \quad (3)$$

Із (1) і (3) можна синтезувати множину з'єднаних систем

$$S_{iz} \subset (X_i^* \times Z_{X_i}) \times (Y_i^* \times Z_{Y_i}). \quad (4)$$

Системи  $S_i$  і  $S_{iz}$  не однакові; система  $S_{iz}$  визначає можливість з'єднання (синтезування) систем.

Клас синтезованих систем із (4) визначимо так:

$$\bar{S}_{iz} = \{S_{iz} : S_{iz} \subset (X_i^* \times Z_{X_i}) \times (Y_i^* \times Z_{Y_i})\}.$$

У цьому класі систем знайдемо основні параметри їх синтезу.

#### I. Каскадний синтез (з'єднання).

Нехай  $S_1 \subset X_1 \times (Y_1^* \times Z_{Y_1})$ ,  $S_2 \subset (X_2^* \times Z_{X_2}) \times Y_2$ .

Введемо операцію  $\circ$ :  $\bar{S}_1 \times \bar{S}_2 \Rightarrow \bar{S}_3$  таку, що

$$S_1 \circ S_2 = S_3, \text{ де } S_3 \subset (X_1 \times X_2^*) \times (Y_1^* \times Y_2),$$

$$Z_{X_1} = Z_{Y_2} = Z \text{ і } ((X_1, X_2), (Y_1, Y_2)) \in S_3 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow (\exists z)((X_1, (Y_1, Z)) \in S_1 \wedge ((X_2, Z), Y_2) \in S_2).$$

Операцію  $\circ$  визначимо як каскадний синтез або каскадна операція.

#### II. Паралельний синтез (з'єднання).

Нехай  $S_1 \subset (X_1^* \times Z_{X_1}) \times Y_1$ ,  $S_2 \subset (X_2^* \times Z_{X_2}) \times Y_2$ .

Введемо операцію  $+$ :  $\bar{S}_1 \times \bar{S}_2 \Rightarrow \bar{S}_3$  таку, що

$$S_1 + S_2 = S_3, \text{ де } S_3 \subset (X_1^* \times X_2^* \times Z) \times (Y_1 \times Y_2),$$

$$Z_{X_1} = Z_{X_2} = Z \text{ і } ((X_1, X_2, Z), (Y_1, Y_2)) \in S_3 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow ((X_1, Z), Y_1) \in S_1 \wedge ((X_2, Z), Y_2) \in S_2.$$

Операцію + назвемо паралельним синтезом (з'єднання) або паралельною операцією.

III. Замикання зворотного зв'язку (організація операції циклів).

Нехай  $F$  – відображення  $F: \bar{S}_z \Rightarrow \bar{S}_z$  таке, що  $F(S_1) = S_2$ , де  $S_1 \subset (X^* \times Z_X) \times (Y^* \times Z_Y)$ , а

$$S_2 \subset X^* \times Y^*, Z_X = Z_Y = Z,$$

$$(X, Y) \in S_2 \Leftrightarrow (\exists z)((X, Z), (Y, Z)) \in S_1.$$

Відображення  $F$  називається замиканням зворотного зв'язку або операцією замикання оберненого зв'язку.

Таким чином, введені три основні операції синтезу систем, які практично вичерпують можливості організації операцій складних систем опрацювання даних.

Сформулюємо основні властивості синтезу операцій опрацювання даних.

1. Якщо операція  $(S_1 \circ S_2) \circ S_3$  визначена, тоді справедлива рівність  $(S_1 \circ S_2) \circ S_3 = S_1 \circ (S_2 \circ S_3)$ .

2.  $S_1 \circ S_2 \neq S_2 \circ S_1$ .

3. Якщо операції  $(S_1 + S_2) + S_3$  і  $S_1 + (S_2 + S_3)$  визначені, тоді справедлива рівність  $(S_1 + S_2) + S_3 = S_1 + (S_2 + S_3)$ .

4.  $S_1 + S_2 = S_2 + S_1$ .

5. В операції 0 немає одиничного елемента.

6. Роль одиничного елемента для операції + відіграє пуста система.

7.  $F(S_1 \circ S_2) = F(S_2 \circ S_1)$ , якщо обидві частини цієї рівності мають сенс.

8. Якщо системи  $S_1 \subset X_1 \times (Y_1 \times Z)$  і  $S_2 \subset (X_2 \times Z) \times Y_2$  не попереджують, тоді не попереджує і система  $S_3 = S_1 + S_2$ .

9. Якщо системи  $S_1 \subset (X_1 \times Z) \times Y$  і  $S_2 \subset (X_2 \times Z) \times Y$  не попереджують, тоді не буде попереджувати і система  $S_3 = S_1 + S_2$ .

10. Якщо системи  $S_1$  і  $S_2$  лінійні, тоді і системи  $S_1 \circ S_2, S_1 + S_2$  і  $F(S_1)$  будуть лінійними, якщо вони визначені.

11. Якщо системи  $S_1$  і  $S_2$  функціональні, тоді функціональними є системи  $S_1 \circ S_2, S_1 + S_2$  за умовою, що вони визначені; каскадне і паралельне з'єднання зберігають властивості взаємоднозначної функціональності; операції замикання зворотного зв'язку у загальному випадку функціональності не зберігають.

12. Нехай  $S \subset (X + Z) \times (Y \times Z)$  є функціональними і  $S(X) = \{Z : (\exists y)((x, z, y, z) \in S)\}$ ,

$$S(x, y) = \{Z : (\exists z')((x, z, y, z') \in S)\}.$$

Система  $F(S)$  є функціональна в тому і тільки в тому випадку, коли для кожного  $x \in X$   $(\exists y)(S(x) \subset S(x, y))$ .

Тепер дослідимо можливості розпаралелення опрацювання інформації для різних операцій синтезу систем на рівні заданих систем  $S_i$ . Розуміється, що операція замикання оберненого зв'язку дозволяє проводити опрацювання даних лише на рівні однієї системи  $S_i$ . Тому важливо дослідити можливість розпаралелення опрацювання даних при побудові різних систем за допомогою каскадного і паралельного поєднання (з'єднання) операцій на рівні заданих систем  $S_i$ .

Для цього розглянемо такі теореми.

**Теорема 1.** Нехай задані системи опрацювання даних  $S_1 \subset X_1 \times (Y_1^* \times Z_{X1})$ ,  $S_2 \subset (X_2^* \times Z_{Y2}) \times Y_2$  і визначені каскадні з'єднання цих систем за допомогою каскадної операції  $S_1 \circ S_2 = S = (X_1 \times X_2^*) \times (Y_1^* \times Y_2)$ , тоді система  $S$  допускає магістральне опрацювання даних на рівні  $S_1$  і  $S_2$ .

Доведення. Нехай системи  $S_1, S_2, S$  реалізують деякі функції  $f_1, f_2, f$  (рис. 1).

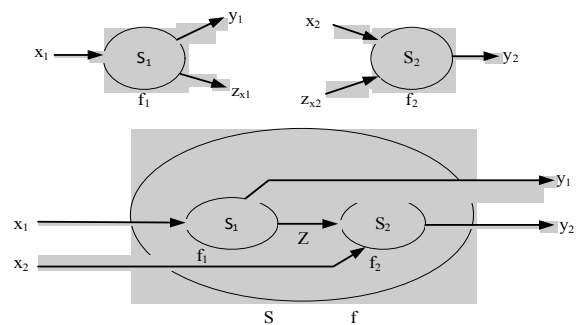


Рис. 1. Мультимагістральне опрацювання даних

Побудуємо магістральну схему опрацювання даних одиничного потоку для визначення функції  $f$ .

Час  $\rightarrow$

Крок 1.  $f_1^1 \ f_1^2 \ f_1^3 \ \dots$

Крок 2.  $f_2^1 \ f_2^2 \ \dots$ ,

де  $f_i^r$  – функція  $f_i$  залежно від  $r$  – аргументу в одиничному потоці даних.

Аналогічно побудуємо магістральну схему функціонування системи  $S$  при одиничному потоці даних на входах  $S_1$  і  $S_2$ . Позначимо через  $S_i^r$  – систему  $S_i$  в момент  $r$  для визначення  $f_i^r$ .

Крок 1.  $S_1^1 \ S_1^2 \ S_1^3 \ \dots$

Крок 2.  $S_2^1 \ S_2^2 \ \dots$



Аналогічні результати можна отримати при мультимагістральних системах опрацювання даних.

**Теорема 2.** Нехай задані системи опрацювання даних

$$S_1 \subset X_1 \times (Y_1^* \times Z_{X_1}), S_2 \subset (X_2^* \times Z_{Y_2}) \times (Y_2^* \times Z_{Y_2}),$$

$$S_3 \subset (X_3^* \times Z_{Y_3}) \times (Y_3^* \times Z_{X_3}), \dots, S_n \subset (X_n^* \times Z_{Y_n}) \times Y_n.$$

Каскадне з'єднання цих систем визначаємо за допомогою каскадного з'єднання операцій

$$S_1 \circ S_2 \circ S_3 \circ \dots \circ S_n = S \subset (X_1 \times X_2^* \times X_3^* \times \dots \times X_n^*) \times (Y_1^* \times Y_2^* \times Y_3^* \times \dots \times Y_{n-1}^* \times Y_n);$$

тоді система  $S$  допускає магістральне опрацювання даних на рівні  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ .

Нехай системи  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n, S$  реалізують функції  $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n, f$ . На рис. 2 подано систему  $S$  опрацювання даних для визначення  $f$ . Побудуємо магістральну схему опрацювання даних для одиничного потоку для визначення  $f$ .

Час  $\rightarrow$

Крок 1.  $f_1^1 \quad f_1^2 \quad f_1^3 \quad \dots \quad f_1^n \quad \dots$

Крок 2.  $f_2^1 \quad f_2^2 \quad \dots \quad f_2^{n-1} \quad \dots$

Крок 3.  $f_3^1 \quad \dots \quad f_3^{n-2} \quad \dots$

.....

Крок  $n$ .  $f_n^1 \quad \dots$

Аналогічно можна побудувати магістральну схему функціонування  $S$  для одиничного потоку даних на входах  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ .

Час  $\rightarrow$

Крок 1.  $S_1^1 \quad S_1^2 \quad S_1^3 \quad \dots \quad S_1^n \quad \dots$

Крок 2.  $S_2^1 \quad S_2^2 \quad \dots \quad S_2^{n-1} \quad \dots$

Крок 3.  $S_3^1 \quad \dots \quad S_3^{n-2} \quad \dots$

.....

Крок  $n$ .  $S_n^1 \quad \dots$

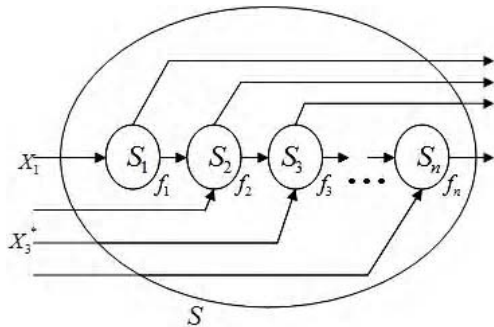


Рис. 2. Мультимагістральна система опрацювання даних

**Теорема 3.** Нехай задані системи опрацювання даних  $S_1 \subset (X_1^* \times Z_{X_1}) \times Y_1, S_2 \subset (X_2^* \times Z_{X_2}) \times Y_2$  і визначено паралельне з'єднання (синтез) цих систем за допомогою паралельного з'єднання операцій

$$S_1 + S_2 = S = (X_1^* \times X_2^* \times Z) \times (Y_1 \times Y_2).$$

Тоді система  $S$  допускає розпаралелення опрацювання даних на рівні  $S_1$  і  $S_2$ .

Доведення. Якщо за умови побудови синтезу  $S$

$$X_1^* \cap Y_2 = \emptyset, \quad Z_{X_2} \cap Y_1 = \emptyset$$

системи  $S_1$  і  $S_2$ , згідно з означенням є інформаційно незалежними, тоді система  $S$  допускає розпаралелення опрацювання даних на рівні  $S_1$  і  $S_2$ . На рис. 3 подано систему  $S$  опрацювання даних.

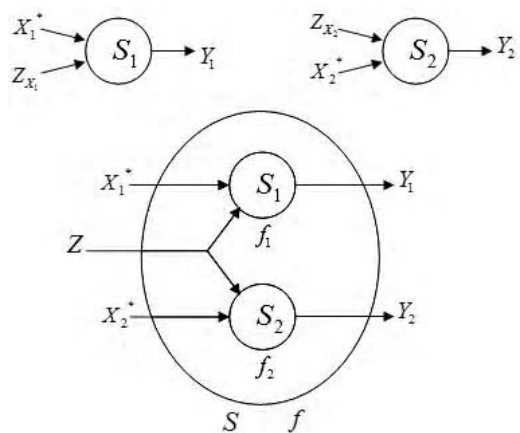


Рис. 3. Система синтезу  $S$  паралельних систем  $S_1$  і  $S_2$

**Теорема 4.** Нехай задані системи опрацювання даних  $S_1 \subset (X_1^* \times Z_{X_1}) \times Y_1, S_2 \subset (X_2^* \times Z_{X_2}) \times Y_2, S_3 \subset (X_3^* \times Z_{X_3}) \times Y_3, \dots, S_n \subset (X_n^* \times Z_{X_n}) \times Y_n$  і визначено синтез (паралельне з'єднання) цих систем за допомогою паралельного з'єднання операцій:

$$S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n = S = (X_1^* \times X_2^* \times X_3^* \times \dots \times X_n^* \times Z) \times (Y_1 \times Y_2 \times Y_3 \times \dots \times Y_n).$$

Тоді система  $S$  допускає розпаралелення опрацювання даних на рівні  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ .

Доведення. Оскільки за умовою побудови  $S$

$$X_1^*, Z_{X_1} \cap Y_2, Y_3, \dots, Y_n = \emptyset$$

$$\wedge X_2^*, Z_{X_2} \cap Y_1, Y_3, \dots, Y_n = \emptyset \wedge \dots \wedge X_n^*,$$

$Z_{X_n} \cap Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_{n-1} = \emptyset$ , то, згідно з означенням, системи  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$  інформаційно взаємозалежні. Тоді система  $S$  допускає розпаралелення опрацювання даних на рівні  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ .

На рис. 4 подано систему синтезу  $S$  паралельного опрацювання даних.

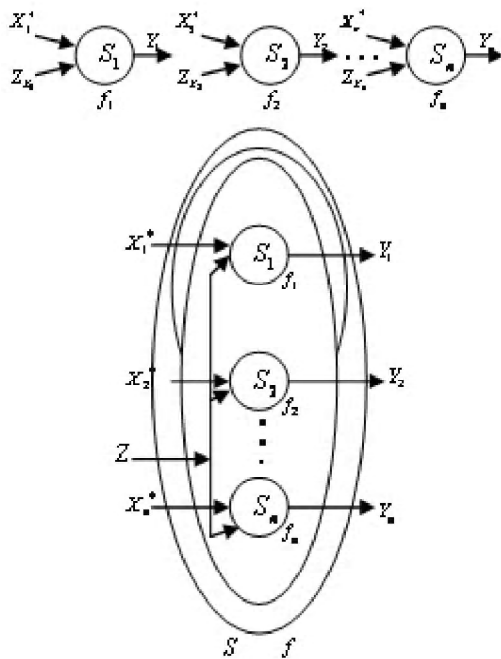


Рис. 4. Система синтезу S паралельного опрацювання даних  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$

**Теорема 5.** Нехай задані системи опрацювання даних  $S_1 \subset (X_1^* \times Z_{X_1}^*) \times (Y_1^* \times Z_{Y_1}^*)$ ,  $S_2 \subset (X_2^* \times Z_{X_2}^*) \times Y_2$  і паралельне каскадне з'єднання (синтез) цих систем за допомогою операцій

$$(S_1 \circ S_2) + S_3 = S_{12} + S_3 =$$

$$= S \subset (X_1^* \times X_2^* \times X_3^* \times Z) \times (Y_1^* \times Y_2 \times Y_3)$$

Тоді система S допускає магістральне опрацювання даних на рівні  $S_1$  і  $S_2$  і розпаралелення опрацювання даних на рівні  $S_{12}$  і  $S_3$ .

Доведення. Підсистема  $S_{12} = (S_1 \circ S_2)$  допускає магістральне опрацювання даних для одиничного потоку на рівні  $S_1$  і  $S_2$ , відповідно до теореми про лінійні алгебри над одним і тим самим полем A, а оскільки відношення  $R_{||}$  паралельного опрацювання інформації є відношенням еквівалентності і довільна система  $S_i$  реалізується паралельно сама собі (умова рефлексивності):  $S_i R_{||} S_i$  для довільного  $i \in I$ , ми маємо синтез  $S = S_{12} + S_3$ , що допускає розпаралелення опрацювання даних на рівні  $S_{12}$  і  $S_3$ .

На рис. 5 подано систему S опрацювання даних.

**Теорема 6.** Нехай задані системи опрацювання даних  $S_1 \subset (X_1^* \times Z_{X_1}^*) \times Y_1$ ,  $S_2 \subset (X_2^* \times Z_{X_2}^*) \times (Y_2^* \times Z_{Y_2}^*)$ ,  $S_3 \subset (X_3^* \times Z_{Y_3}^*) \times Y_3$ , і паралельне каскадне з'єднання цих систем за допомогою операцій:  $S_1 + (S_2 \circ S_3) = S_1 + S_{23} = S \subset (X_1^* \times X_2^* \times X_3^* \times Z) \times (Y_1 \times Y_2^* \times Y_3)$ , тоді система S допускає магістральне опрацювання даних на рівні  $S_2$  і  $S_3$  і розпаралелення опрацювання даних на рівні  $S_1$  і  $S_{23}$ , оскільки  $S_1 + (S_2 \circ S_3) = (S_2 \circ S_3) + S_1$ .

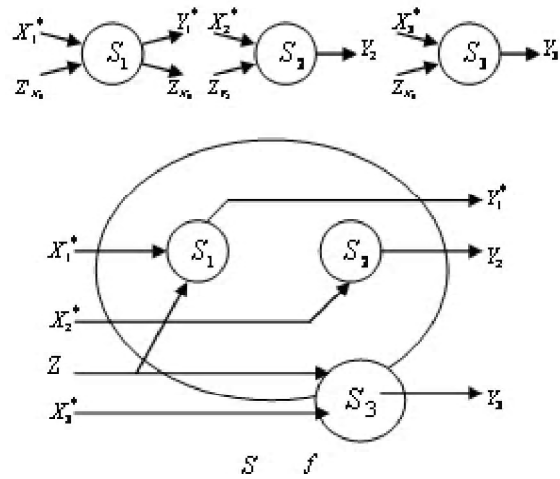


Рис. 5. Синтез паралельного і магістрального опрацювання даних

**Теорема 7.** Нехай задані системи опрацювання даних

$$S_1 \subset (X_1^* \times Z_{X_1}^*) \times (Y_1^* \times Z_{Y_1}^*),$$

$$S_2 \subset (Z_{X_2}^* \times X_2^*) \times (Y_2^* \times Z_{Y_2}^*),$$

$S_3 \subset (X_3^* \times Z_{Y_3}^* \times Z_{Y_3}^*) \times Y_3$  і паралельне каскадне з'єднання цих систем за допомогою операцій:

$$(S_1 + S_2) \circ S_3 = S_{12} \circ S_3 =$$

$$= S \subset (X_1^* \times X_2^* \times X_3^* \times Z) \times (Y_1^* \times Y_2^* \times Y_3);$$

тоді система S допускає розпаралелення опрацювання даних на рівні  $S_1$  і  $S_2$  і магістральне опрацювання даних на рівні  $S_{12}$  і  $S_3$ .

Доведення. Згідно з теоремою про те, що відношення паралельного опрацювання інформації є відношенням еквівалентності, підсистеми  $S_{12} = S_1 + S_2$  допускають розпаралелення опрацювання даних на рівні  $S_1$  і  $S_2$ , а згідно з теоремою 1 система S допускає магістральне опрацювання даних для одиничного потоку на рівні  $S_{12}$  і  $S_3$ .

На рис. 6 подано таку систему S.

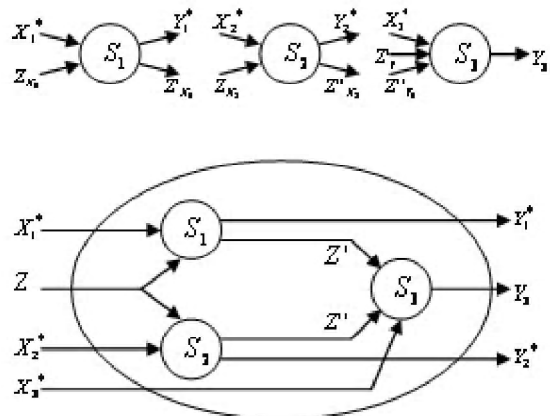


Рис. 6. Синтез каскадного з'єднання та операції замикання оберненого зв'язку

**Теорема 8.** Нехай задані системи

$$S_1 \subset (X_1^* \times Z_{X_1}) \times (Y_1^* \times Z_{Y_1}),$$

$$S_2 \subset (X_2^* \times Z_{X_2}) \times (Y_2^* \times Z_{Y_2})$$

і визначено каскадне з'єднання, що охоплене оберненим зв'язком за допомогою каскадного з'єднання операції та операції замикання оберненого зв'язку

$$F(S_1 \circ S_2) = S \subset (X_1^* \times X_2^*) \times (Y_1^* \times Y_2^*), \quad (5)$$

тоді система  $S$  допускає розпаралелення опрацювання даних на рівні  $S_1$  і  $S_2$ .

Доведення. За умовою:

$$X_1^* \cap Y_2^* = \emptyset \wedge X_2^* \cap Y_1^* = \emptyset \quad (2).$$

З (5) і (6) маємо, що система  $S$  допускає розпаралелення опрацювання даних на рівні  $S_1$  і  $S_2$ .

На рис. 7 подано таку систему  $S$ .

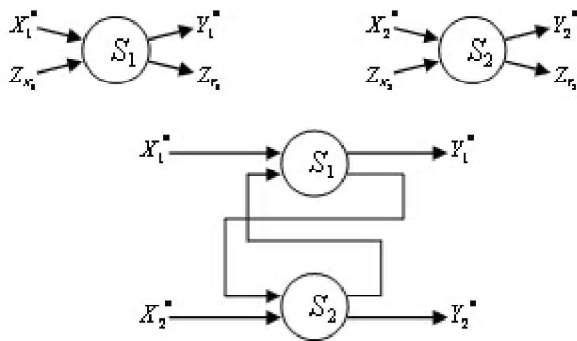


Рис. 7. Синтез, охоплений оберненим зв'язком за допомогою каскадних операцій замикання оберненого зв'язку

**Теорема 9.** Нехай задано системи

$$S_1 \subset (X_1^* \times Z_{X_1}) \times (Y_1^* \times Z_{Y_1}),$$

$$S_2 \subset (X_2^* \times Z'_{X_2} \times Z''_{X_2}) \times (Y_2^* \times Z'_{Y_2} \times Z''_{Y_2}), \dots, S_{n-1} \subset$$

$$\subset (X_{n-1}^* \times Z'_{X_{n-1}} \times Z''_{X_{n-1}}) \times (Y_{n-1}^* \times Z'_{Y_{n-1}} \times Z''_{Y_{n-1}})$$

і визначено каскадне з'єднання, що охоплено оберненим зв'язком за допомогою каскадних операцій замикання оберненого зв'язку

$$F(S_1 \circ S_2 \circ \dots \circ S_n) = S \subset (X_1^* \times X_2^* \times \dots \times X_n^*) \times (Y_1^* \times Y_2^* \times \dots \times Y_n^*).$$

Тоді система  $S$  допускає розпаралелення (3) опрацювання даних на рівні  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ .

Доведення. За умовою

$$X_1^* \cap Y_2^* \cap \dots \cap Y_n^* = \emptyset \wedge X_2^* \cap Y_1^* \cap Y_3^* \cap \dots \cap Y_n^* = \emptyset,$$

$$X_n^* \cap Y_1^* \cap \dots \cap Y_{n-1}^* = \emptyset. \quad (7)$$

З (7) випливає, що система  $S$  допускає розпаралелення опрацювання даних на рівні  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ .

На рис. 7 подано систему  $S$ , отриману за допомогою операцій каскадних з'єднань замикання оберненим зв'язком.

### 3. Висновки

Запропоновані математичні методи синтезу складних систем паралельної обробки даних та їх налаштування у комп'ютерному зорі:

- 1) каскадне з'єднання (синтез);
- 2) паралельне з'єднання (синтез), замикання зворотного зв'язку (операція циклів);
- 3) введені і розроблені три основні операції синтезу, які практично вичерпують можливості організації операцій складних систем обробки даних;
- 4) наведені основні теореми про синтез систем магістральної обробки даних, мультимагістральних систем проблем даних, паралельних систем обробки даних, синтез паралельної каскадної обробки даних, паралельної і магістральної обробки даних, синтез, що охоплений оберненим зв'язком.

*Наукова новизна* полягає у розробці математичних методів синтезу складних систем паралельної обробки даних.

*Практична цінність* полягає у розробленні основних операцій синтезу, які практично вичерпують можливості організації операцій складних систем обробки даних.

**Література:** 1. Грицик В. В. Опис алгоритмів паралельно-рекурсивної обробки даних в системах реального часу. Доповіді НАН України. Інформатика та кібернетика 2009. №3. с. 49-54. 2. Джордж Ф. Люггер Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем / Джордж Ф. Люггер. М. ; С-Пб. ; К. : Вильямс. 2005. 863 с. 3. Грицик В. В. Моделі і засоби адаптивного опрацювання відеопотоків у системах комп'ютерного зору. Львів, 2012. 350 с. 4. Вовк О.Б. Формалізація операцій над інформаційними продуктами / Вовк О.Б. // Математичні машини і системи. Київ, 2012. № 2. С. 51–59. 5. Ryshkovets Yu. V. Information model of Web-gallery taking into account user's interests / Ryshkovets Yu. V., Zhezhyuch P. I. // Econtechmod. An international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes. 2013. Vol. 2, № 3. P. 59-63.

Поступила в редколегію 12.05.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Лупенко С.А.

**Грицик Володимир Володимирович**, д-р техн. наук, професор кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету "Львівська політехніка". Наукові інтереси: інформаційно-аналітичні системи. Адреса: Україна, 79013, Львів, вул. С. Бандери, 12, тел. (032)258-25-38.

**Грицик Володимир Володимирович**, д-р техн. наук, професор кафедри комп'ютерних систем та мереж Тернопільського Національного технічного університету ім. І. Пулюя. Наукові інтереси: системи та засоби штучного

інтелекту, інформаційні технології. Адреса: Україна, 46001, Тернопіль, вул. Руська, 56, тел. (032) 258-25-38.

**Буров Євген Вікторович**, канд. техн. наук, професор кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету “Львівська політехніка”. Наукові інтереси: комп’ютерні мережі. Адреса: Україна, 79013, Львів, вул. С. Бандери, 12, тел. (032) 258-25-38.

**Вовк Олена Борисівна**, канд. техн. наук, старший викладач кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету “Львівська політехніка”. Наукові інтереси: інтелектуальні системи прийняття рішень, інформаційні продукти, інтелектуальна власність. Адреса: Україна, 79013, Львів, вул. С. Бандери, 12, тел. (032) 258-25-38.

**Ришковець Юрій Володимирович**, канд. техн. наук, асистент кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету “Львівська політехніка”. Наукові інтереси: реляційні бази даних та бази часово-залежних даних, адаптивні інформаційні системи, технології консолідації даних, системи дистанційного навчання. Адреса: Україна, 79013, Львів, вул. С. Бандери, 12, тел. (032) 258-25-38.

**Зозуля Андрій Миколайович**, ЛТЕ Консалтинг, регіональний представник західного регіону. Наукові інтереси: інформаційні технології. Адреса: Україна, 46000, Тернопіль, вул. Шевченка, 16, тел. (032) 258-25-38.

УДК 666.97+004

## СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ БЕТОНУ

*МІХЄЄВ І.А.*

Аналізуються сучасні інформаційні системи для визначення складу бетону. На основі проведеного аналізу формується ряд вимог до комп’ютерної програми, що розробляється. Описуються функціональні можливості та приклади інтерфейсу користувача комп’ютерної програми для розв’язання задачі проектування складу бетону з урахуванням впливу характеристик матеріалів та нормування рецептурно-технологічних параметрів «ПСБ УкрДАЗТ».

### 1. Вступ

Сучасна технологія виробництва бетону є складною стохастичною системою, яка функціонує в умовах невизначеності, відсутності строгих математичних моделей, які б адекватно описували технологічні, виробничі та фізико-хімічні процеси, відсутності єдиної методики розрахунку складів і методів оперативної оцінки якості бетонної суміші в реальному масштабі часу [1].

Більшість завдань управління виробництвом бетону: підбір складу бетонної суміші, вибір виду та концентрації добавки, управління ходом технологічного процесу вирішується, як правило, на основі евристичних знань оператора-технолога, який спирається на свій досвід і професійну майстерність. Об’єднання великої кількості наявних знань, даних та моделей в області бетонознавства і виробництва бетонних сумішей можливо за допомогою інформаційних технологій. Тому впровадження сучасних комплексів автоматизації та комп’ютеризації технологічних процесів повинно передбачати використання сучасних інформаційних систем обробки даних та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Застосування апарату експертних систем при виробництві бетону дозволить істотно допомогти оператору-технологу в рішенні слабоформалізованих задач, які виникають в процесі прийняття управлінських рішень [2-7]. Перевага використання систем штучно-

го інтелекту (експертних систем) перед традиційними системами управління полягає в тому, що вони спираються на багаторічний досвід роботи не одного, а декількох експертів, містять у собі знання, підкріплені нормативно-технічною документацією, а також вони інваріантні до людських факторів.

Метою дослідження є розробка структури та інтерфейсу користувача комп’ютерної програми для визначення складу бетону. Виходячи з поставленої мети, сформульовані такі задачі дослідження: аналіз сучасного стану проблеми застосування інформаційних технологій для розв’язання задачі проектування бетону, визначення сильних та слабких сторін кожного з наданих програмних засобів, формування списку вимог до комп’ютерної програми, що розробляється.

### 2. Аналіз інформаційних систем

Аналіз застосування сучасних інформаційних технологій для визначення складу бетону із заданими властивостями показав, що відбувається активний розвиток та вдосконалення вже розроблених програм [8], а також з’явився новий формат програмного забезпечення – он-лайн сервіс (web-додаток) для визначення складу бетону.

Програма «ФoБeC-01», розроблена Лихачовим Д.В. [9], служить для проектування складів бетонних сумішей з використанням нечіткої логіки і включає в себе три модулі: проектування складу, прогнозування властивостей бетонної суміші та корекція складу.

Комп’ютерна система управління складами бетонної суміші (КСУБС 6.3), розроблена Большаковим В.І. [10] і Дворкіним О.Л., здійснює проектування базових складів бетонної суміші (рис. 1). Комп’ютерна програма має три різномовні версії з інтерфейсом на українській, російській та англійській мовах.

Прикладна комп’ютерна програма «Состав», розроблена в Інституті хімії і технології рідкісних елементів і мінеральної сировини ім. І.В. Тананаєва [8], призначена для формування бази даних, автоматизації розрахунків і аналізу інформації з метою прийняття обґрунтованого рішення при оптимізації складів і властивостей композиційних матеріалів. Із запропонованого переліку матеріалів формується таблиця умовно-постійних значень для одного або серії складів.

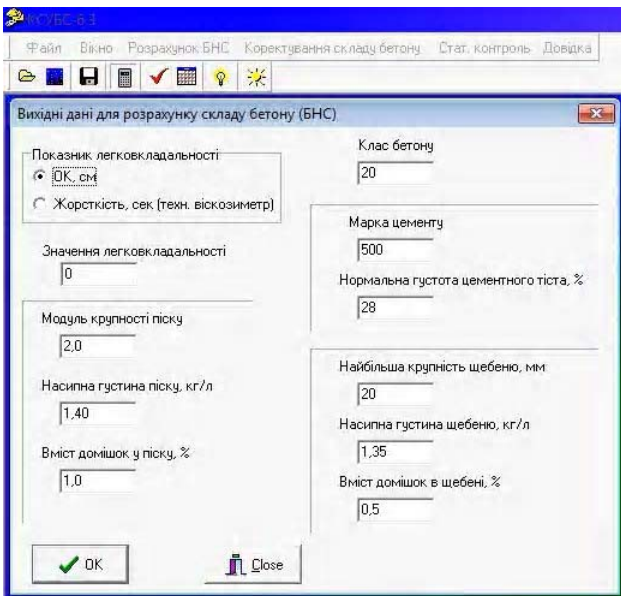


Рис. 1. Інтерфейс користувача комп'ютерної програми КСУБС

Програма «Concrete 2.0», розроблена Федосовим С.В., Акуловою М.В., Базановим С.М. і Тороповою Н.В., призначена для визначення складу важкого і дрібнозернистого бетонів, оцінки однорідності їх міцності і техніко-економічної ефективності. У даній програмі передбачена можливість проектування складу з добавкою – пластифікатором (рис. 2).

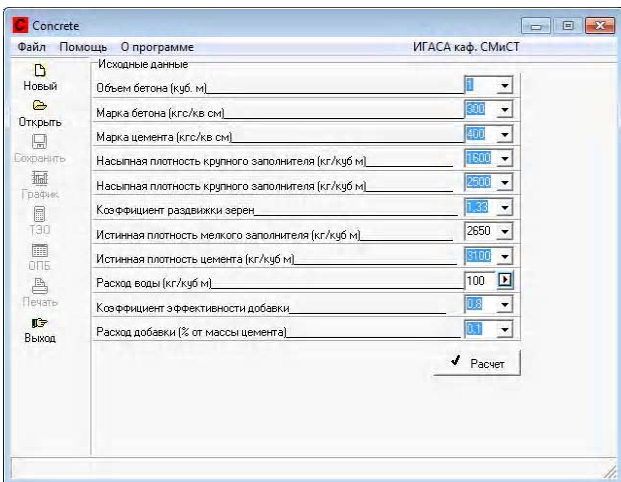


Рис. 2. Інтерфейс користувача комп'ютерної програми Concrete 2.0

Комп'ютерна програма «ПСБ-УкрГАЗТ 1.3», розроблена в Українській державній академії залізничного транспорту, дозволяє визначати склад бетону за заданими характеристиками зручності, проектної міцності, морозостійкості і водонепроникності на основі авторської методики Плуґіна А.Н., Плуґіна А.А., Калініна О.А. [11]. В програмі реалізовано облік багатьох стандартних рецептурно-технологічних факторів, типів використовуваних в'язучих речовин, наповнювачів, умови експлуатації конструкції. Також реалізована можливість порівняння результатів проектування складів бетону із стандартною методикою «НИИЖБ». Комп'ютерна програма «ПСБ-

УкрГАЗТ 1.3» має два інтерфейси: україномовний та російськомовний (рис. 3).

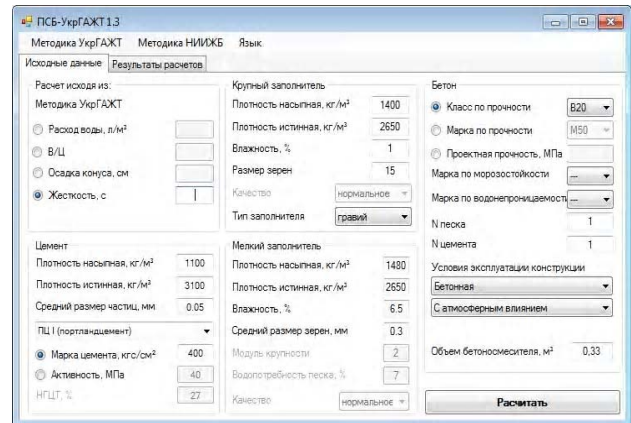


Рис. 3. Інтерфейс користувача комп'ютерної програми «ПСБ-УкрГАЗТ 1.3»

Комп'ютерна програма «Concrete Design», розроблена у Харківському національному університеті будівництва та архітектури, дозволяє вирішити задачу проектування складу бетону із заданими властивостями [12]. Алгоритм програми побудовано на методі розв'язання задачі умовної оптимізації (комплексний метод Бокса) та включає експериментально-статистичні залежності властивостей бетону та бетонної суміші від рецептурно-технологічних факторів. (рис. 4). Комп'ютерна програма «Concrete Design» дає можливість зберігати дані про різні складові матеріали, накопичувати та використовувати їх в процесі розрахунку складу бетону. Також доступне варіантне проектування для вибору певних складових матеріалів з множини допустимих варіантів.

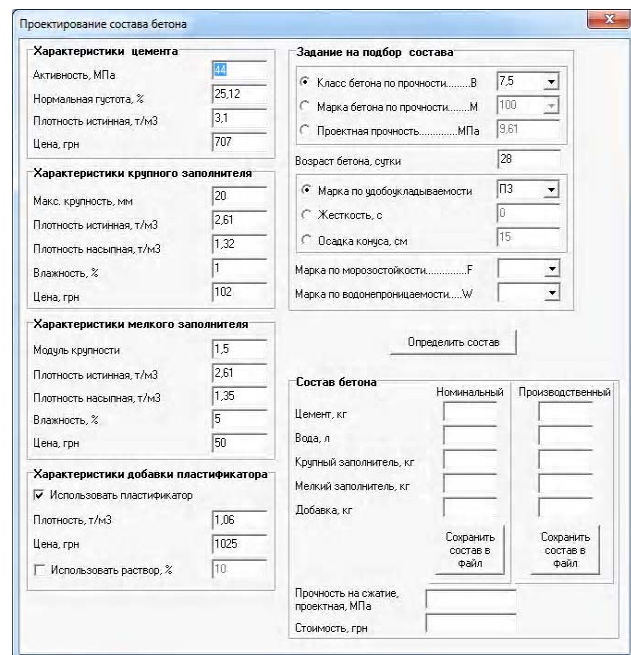


Рис. 4. Інтерфейс користувача комп'ютерної програми «Concrete Design»

Програма «БЕТОН v.3.1», розроблена польськими вченими в Інституті основних проблем техніки

Польської академії наук, складається з декількох основних модулів: картотеки, що описують характеристики конструкції з бетону, склад якого необхідно спроектувати; картотеки, що описують вимоги до бетону, показники властивостей складових бетон матеріалів (цементу і заповнювачів) [13].

Програмний комплекс «Concrete Quality» (Іспанія-США) є багатофункціональним програмним забезпеченням для лабораторій, що виконують дослідження будівельних матеріалів. Програма має декілька модулів, у тому числі модуль «Mix Designs», що відповідає за проектування складу бетону. Для визначення складу бетону необхідно внести в базу даних інформацію щодо складових матеріалів та їх характеристик, обрати проектні характеристики бетону та методологію його визначення. Весь процес проектування є інтерактивним та супроводжується графічними підказками. Програма підтримує операційні системи останніх поколінь, у тому числі Windows 8 (рис. 5).

Важливо відзначити необхідність встановлення додаткового програмного забезпечення Microsoft .Net v 4.0, Microsoft SQL Server Compact, а також реєстрації на сервері розробників.

Широке застосування Web-технологій, можливість розробки Back-End додатків великої складності дозволяють створювати програми проектування складу бетону, що можуть працювати у браузері на комп'ютерах, підключених до всевітньої мережі Internet. Більшість сервісів надають звичайні рецептури заздалегідь визначених складів бетонів. Однак є сервіси, що дозволяють враховувати характеристики складових матеріалів та деякі технологічні особливості.

Сервіс «Он-лайн расчет и проектирование технологических карт» ООО «Категис» дозволяє користувачу проектувати склади бетону, використовуючи лише браузер без встановлювання будь-якого додаткового програмного забезпечення. Програма дозволяє враховувати основні характеристики складових матеріалів, у тому числі і вартість (рис. 6).

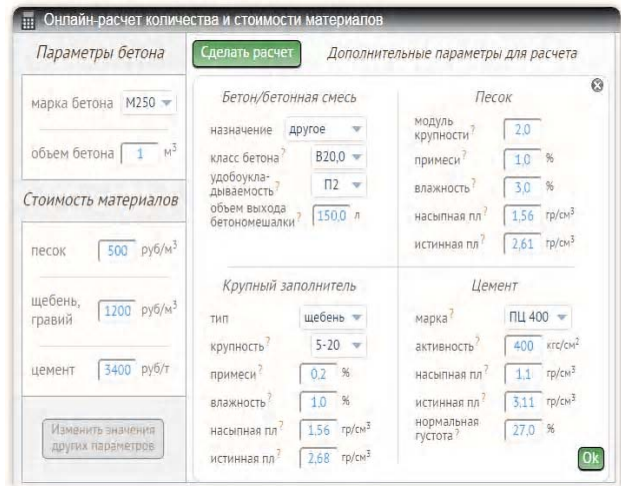


Рис. 6. Web-додаток для розрахунку кількості і вартості матеріалів у бетоні із заданими властивостями

Web-додаток для розрахунку складу бетону «RUKAMEN.RU» дозволяє враховувати не тільки властивості складових матеріалів, але і характеристики конструкції, для якої склад проектується. Програма дозволяє проектувати склади бетону із застосуванням пластифікаторів та повітровтягуючих добавок (рис. 7).

Основна перевага он-лайн сервісів – доступність з будь-якої точки підключення до мережі Internet є

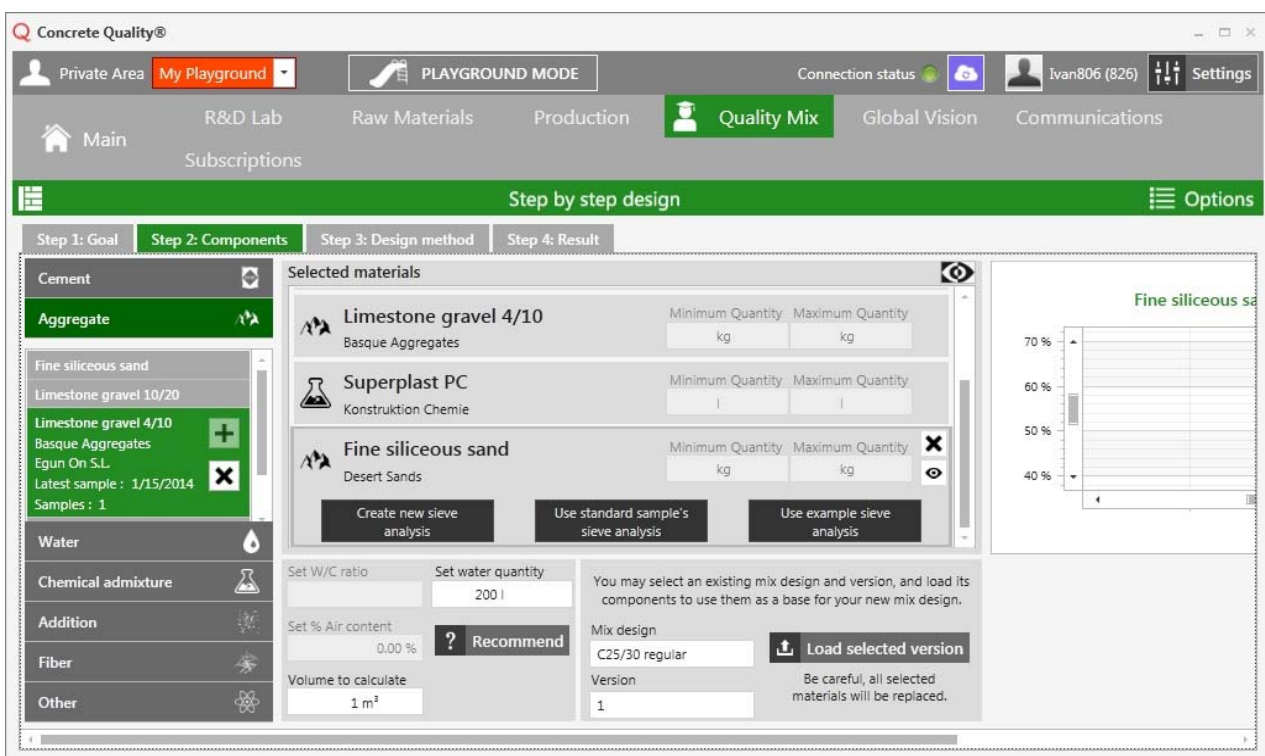


Рис. 5. Інтерфейс комп'ютерної програми «Concrete Quality»

одночасно і основним недоліком, оскільки більшість виробничих ліній не мають такого підключення.

Рис. 7. Web-додаток для розрахунку складу бетону «RUKAMEN.RU»

Проведений аналіз свідчить про те, що за всіх переваг багато методів не вирішують сучасних питань задачі проектування складу бетону для конструкцій і споруд залізниць, що характеризується вимогами забезпечення спеціальних властивостей бетону. Незважаючи на велику кількість різновидів програмного забезпечення для розв'язання задачі проектування складу бетону, всі вони різняться за своїми функціональними можливостями, вирішують питання проектування складу бетону, не враховуючи множини рецептурно-технологічних факторів та критеріїв ефективності.

Результат аналізу програмних продуктів дозволив узагальнити і сформулювати вимоги до функціональних можливостей розроблюваної комп'ютерної програми:

- робота під різними операційними системами;
- самодостатність, тобто не вимагати встановлення на комп'ютері користувача додаткового програмного забезпечення;
- налаштування інтелектуальної системи на різний рівень підготовки користувача (студент, спеціаліст-практик, дослідник);
- наявність розвинутого графічного інтерфейсу користувача;
- формування звітної документації у форматі текстових редакторів з можливістю подальшого корегування;
- оперативний зворотний зв'язок з розробником системи (режим електронної пошти);
- прийнятна компактність програмного забезпечення;
- забезпечення мультимовності інтерфейсу.

### 3. Основний матеріал

В ході виконання комплексного наукового проекту: «Розвиток теоретичних та експериментальних основ визначення складів водонепроникного тріщиностійкого бетону для конструкцій і споруд залізниць» та підтеми комплексного наукового проекту «Створення прототипу інтелектуальної системи управління складом і властивостями бетону для конструкцій і споруд залізниць» колективом авторів Української державної академії залізничного транспорту та Харківського національного університету будівництва та архітектури створено концептуальну модель експертної системи визначення складу бетону із заданими властивостями на основі побудованих математичних моделей та алгоритмів розв'язання задачі проектування складу бетону, а також комп'ютерну програму «ПСБ УкрДАЗТ», що дозволяє проектувати склад важких цементних бетонів із заданими властивостями, основне призначення якої – використання у вигляді автономної комп'ютерної програми та у складі комплексу автоматизованих систем управління виробництвом бетонних сумішей, бетонних і залізобетонних виробів [14].

Комп'ютерна програма «ПСБ УкрДАЗТ» має декілька функцій, основна з яких – визначити дозування складових матеріалів, виходячи з їх характеристик та проектних властивостей бетонної суміші і бетону в певному віці, що істотно спрощує завдання прийняття рішень в нестаціонарних лабораторних і виробничих умовах [15].

Інтерфейс користувача розроблено із забезпеченням принципів комфортності використання, високої функціональності та підтримки користувача на всіх етапах використання розв'язання поставленої задачі.

Для кожного поля вводу, в яке користувач може помилково ввести неприпустимі значення, в код програми закладено інтервал/список можливих значень, а модуль виправлення помилок в коректній формі виводить повідомлення із рекомендованими значеннями. Пріоритетність результатів розробки комп'ютерної програми «ПСБ УкрДАЗТ» оформлено у вигляді авторського свідоцтва.

Комп'ютерна програма «ПСБ УкрДАЗТ» призначена для широкого кола технологічної спільноти, перш за все працівників будівельних організацій і підприємств, що спеціалізуються на виробництві бетону й виробів з нього, включаючи заводи ЗБВ, виробників товарного бетону, а також наукових співробітників і слухачів ВНЗів. Використання комп'ютерної програми дозволяє підвищити продуктивність праці, культурний рівень прийняття рішень, знизити матеріалоємність виробництва та отримати економічний ефект шляхом проектування та оперативного коригування складів бетону залежно від змін рецептурно-технологічних параметрів.

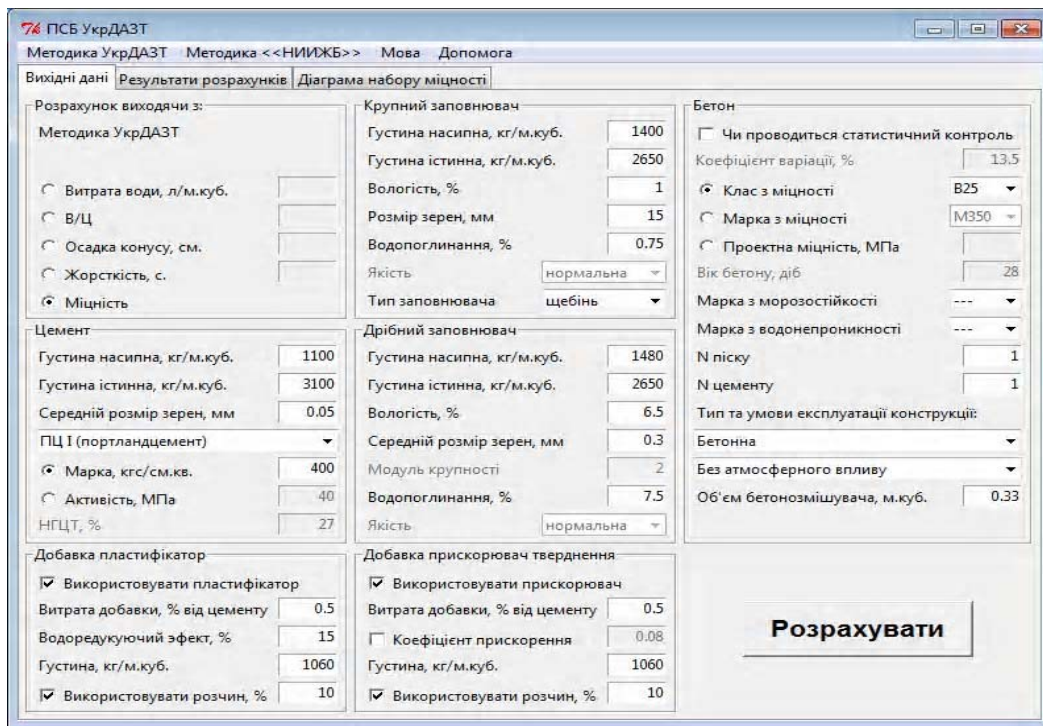


Рис. 8. Інтерфейс користувача комп'ютерної програми «ПСБ УкрДАЗТ»

#### 4. Висновок

Проведений аналіз сучасних програмних продуктів для розв'язку задачі проектування складу бетону показав шляхи його удосконалення і покращення. На основі цього сформовано ряд вимог до майбутньої комп'ютерної програми. Розроблено прототип інтелектуальної системи для визначення складу і управління властивостями бетону у вигляді комп'ютерної програми. Розроблено структуру та кросплатформний інтерфейс користувача. Застосування комп'ютерної програми на виробництві бетонних/залізобетонних виробів забезпечить оператору-технологу можливість ефективно і максимально зручно керувати якістю продукції, дозволить приймати раціональні рецептурно-технологічні рішення для конкретної виробничої ситуації в умовах невизначеності та при достатньо жорстких вимогах до ресурсозбереження.

**Література:** 1. Сизова Н.Д., Михеев І.А. Алгоритм рішення задачі проектування состава бетону методами математического планирования експеримента // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Х.: ЕЕJET, 2010. №2/6 (44). С. 8-10. 2. Большаков В.И., Дубров Ю.И., Ткаченко А.Н., Ткаченко В.А. Экспертные системы как один из эффективных методов решения численно-неприводимых задач материаловедения // Строительство, материаловедение, машиностроение. 2007. Ч. 2 №42. С. 3-6. 3. Дубницький В.Ю., Чернявський В.Л. Макет експертної системи по вибору состава композитов и его модификаторов // Тезиси докладов научно-технического семинара «Компьютерный поиск оптимальных модификаторов качества композитов». Киев.: Знание, 1992. 20 с. 4. Петрова Е.А., Михеев І.А. Практика разработки и внедрения экспертной системы в производстве бетонных изделий // Наук. вісн. будівництва. Х.: ХДТУБА, ХОТВАБУ, 2009. Вип. 43. С. 242-244. 5. Gonzalez A.J., Dankel D.D. The Engineering of Knowledge-Based Systems Theory and Practice. New Jersey: Prentice-Hall, Incorporated, Englewood Cliffs, 1993. 523 p. 6. Kaetzel L.J., Clifton J.R. Expert/Knowledge Based Systems for Materials in the Construction Industry: State-of-Art Report. Washington:

SHRPNAS, 1993. 36 p. 7. Users Guide to the Highway Concrete (HWYCON) Expert System. Strategic Highway Research Program, SHRP-C-406. – Washington DC: SHRP NAS, 1994. – 30 p. 8. Латорец Е.В., Михеев І.А. Анализ применения современных информационных технологий для решения задач производства товарного бетона // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Харьков: ЕЕJET, 2011. №3/9 (45). С. 4-6. 9. Лухачев Д.В. Автоматизация процесса проектирования составов бетонных смесей и их корректировки на основе прогнозирования качества будущего бетона с использованием четких и нечетких моделей: автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук. Специальность 05.13.06. Орел, 2004. 18 с. 10. Дворкин О.Л. Многопараметрическое проектирование составов бетонов. Ровно: РГТУ, 2001. 121 с. 11. Сносіб визначення складу високоміцного, тріщиностійкого і водонепроникного бетону / А.М. Плугін, О.А. Калінін, С.В. Мірошніченко, А.А. Плугін та ін.. Патент України №62613 UA. публ. 15.06.2005. Бюл. №6. 12. Михеев І.А. Комп'ютерна програма «Concrete Design». А.с. 39817 Україна. Опубл. 30.08.2011. 13. Sliwinski J. Beton zwykly – projektowanie i podstawowe wlastiwosci. Krakow: Polski Cement Sp. z o.o., 1999. 164 s. 14. Сизова Н.Д., Михеев І.А. Особенности создания программного обеспечения для проектирования состава бетона // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2013, № 6/2(66). С. 27-31. 15. Сизова Н.Д., Плугін А.А., Калінін О.А., Михеев І.А. Физическое и математическое моделирование в задаче проектирования состава бетона // Моделирование и оптимизация композиций: Материалы к международному семинару, посвященному 80-летию В.А. Вознесенского (Одесса, 22-23 апр. 2014). Одесса: Астропринт, 2014. С.90-94.

Надійшла доредколегії 18.04.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Гороховатський В.О.

**Міхеев Іван Андрійович**, канд. техн. наук, доцент кафедри економічної кібернети та інформаційних технологій Харківського національного університету будівництва та архітектури. Наукові інтереси: математичне моделювання складних процесів і систем, методи оптимізації будівельного матеріалознавства, сучасні інформаційні технології в будівельній галузі. Адреса: Україна, 61002, Харків, вул. Сумська, 40, тел. (057) 7062049 E-mail: i.a.mikheev@gmail.com



## ЕЛЕКТРОННА МЕДИЧНА КАРТКА НА ПЛАНШЕТНОМУ ПК

НЕЧИПОРЕНКО Ю. Л.

Розробляється концепція електронної медичної картки для гетерогенного середовища медичних інформаційних систем різного рівня. Пропонується відповідна модель і технічне рішення. Здійснюється огляд та оцінювання операційних систем для мобільних пристроїв. Створюється проект мобільного додатку на ОС Android у вигляді електронної медичної карти на планшетному ПК Acer.

### Вступ

В результаті порівняння специфікацій функцій систем підтримки електронної медичної картки (ЕМК) встановлено, що існує тенденція залучення мобільних пристроїв до ведення масиву медичних даних. Тому доцільна розробка ЕМК, яка може бути встановлена на особистому мобільному пристрої користувача (пацієнта). Слід врахувати при проектуванні ЕМК специфікацію функцій, яка сформована в результаті огляду джерел, організувати сполучення мобільної ЕМК з різними медичними інформаційними системами (МІС) медичних закладів, застосування інтернет-сервісів [1].

*Мета дослідження* – розробка користувацького інтерфейсу ЕМК на мобільному пристрої.

*Методи* – програмування з застосуванням програмних продуктів Android SDK, Eclipse IDE, AVD Manager та мов програмування Java та Xml.

*Концепція* – ЕМК як невід'ємний елемент сучасної електронної МІС має бути спроектованою таким чином, щоб вона містила дані, зміст та обсяг яких регламентовано існуючими державними та міжнародними нормативами.

ЕМК має зберігати в єдиному місці великий обсяг даних протягом життя свого власника, належати особисто людині, дані про яку накопичуються в ЕМК, експортувати/імпортувати дані в існуючому гетерогенному середовищі МІС різного рівня та електронного медичного обладнання.

*Модель* – запропоновано модель гетерогенного середовища сполучення ЕМК, розміщеної на пристроях різних типів, з МІС медичного закладу. Модель містить різноманітні види пристроїв, на яких може бути розміщена особиста ЕМК: компакт-диск, flash-card, мобільний телефон, смартфон, планшетний комп'ютер, приватний сервер. Апаратною частиною МІС є сукупність автоматизованих робочих місць (АРМ) лікарів та персоналу медичного закладу, сервери баз даних, файл-сервери, сервери e-mail, сервери мобільного зв'язку, веб-сервери, сайт медичного закладу з розміщеними на ньому інтернет-сервісами, брандмауер, сукупність електронних медичних діагностичних приладів, зчитувач смарт-карток, RAID-масив, які взаємодіють між собою через Ethernet. МІС має вихід на

сервер медичного закладу вищого рівня, районного, міського тощо. Сполучення ЕМК з МІС може бути організоване через АРМ лікаря, Інтернет, електронну пошту, мобільний зв'язок (рисунок).

**Технічне рішення** – серед перелічених пристроїв, на яких може бути розміщеною особиста ЕМК, можна виділити смартфон, планшетний комп'ютер як такі, що мають розвинену функціональність, набувають все більшого поширення. Розглядаючи можливість застосування мобільних пристроїв, таких як смартфон, планшетний ПК, треба відмітити, що якість мобільного пристрою залежить від його апаратних характеристик і від застосованої операційної системи (ОС). Проаналізовано поширені ОС для мобільних пристроїв (Symbian, Windows Mobile, Android, iPhone) з метою обрання найбільш придатної для розміщення ЕМК на мобільному пристрої.

### 1. Огляд операційних систем для мобільних пристроїв

Якість смартфона залежить від його апаратних характеристик, а функціональність в більшій мірі залежить від застосованої ОС. Тому дуже важливо підібрати не тільки хороші апаратні характеристики, потрібно ще вибрати ОС, з якою користувачеві буде зручно працювати. Програми, написані спеціально для ОС смартфона або планшетного комп'ютера, є повноцінними скомпільованими в двійковій формі послідовностями низькорівневих мікропроцесорних команд. Спеціалізовані програми для смартфонів і планшетних комп'ютерів раціональніше використовують ресурси процесора і, як правило, мають більший функціонал, ніж «універсальні» J2ME-програми для мобільних телефонів.

ОС є сполучною ланкою між апаратною платформою і програмами, що на ній виконуються. При цьому в ОС у вигляді бібліотек і модулів зібрані найбільш часто використовувані стандартні набори команд, що дозволяє спростити проектування програмного забезпечення та скоротити час розробки. Типовими представниками таких наборів команд є драйвери зовнішніх портів введення-виведення, реалізації стека протоколів, графічний інтерфейс, набір специфічних механізмів для розробки програмного продукту тощо.

**ОС Symbian** – це наступник ОС EPOC. В 1998-2000 роках більшу частину ОС переписали для оптимізації програмного коду для роботи на пристроях, які мають обмежену кількість ресурсів. Розробникам Symbian ОС вдалося домогтися значної економії пам'яті, поліпшення кешування програмного коду, а значить прискорення роботи програм під Symbian ОС, при цьому враховуючи знижені вимоги до енергоспоживання [2]. Відмінною особливістю ОС Symbian є повністю об'єктно-орієнтована архітектура на рівні API. ОС Symbian в модифікації Series 60 є основною платформою для смартфонів компанії Nokia. Вона розроблена для пристроїв з телефонною клавіатурою, яка має скорочений набір кнопок, і для пристроїв, які мають повнорозмірну клавіатуру. Основними мовами роз-

робки додатків для ОС Symbian є C++, OPML, підтримка Java-додатків.

**Windows Mobile (WM)** являє собою ОС для мобільних пристроїв на базі платформи Windows CE. Найбільш популярними є моделі комунікаторів з сенсорним дисплеєм, для яких випускається основна маса всіх додатків для WM. У програмній начинці гаджетів на основі WM присутній стандартний набір додатків: Internet Explorer, Windows Live, Windows Media Player, Office Mobile та інших [3].

Платформа **Android** для мобільних телефонів, смартфонів, комунікаторів на базі ОС Linux (ядро v2.6) підтримується альянсом Open Handset Alliance (ОНА), який ініціювала компанія Google [4]. Платформа Android легко пристосовується для використання на VGA, 2D графічних бібліотек, розроблених на основі специфікації OpenGL ES 1.0, а також традиційних інструментів для смартфонів. Android використовує базу даних для структурованих даних. Підтримує велику кількість технологій, які забезпечують зв'язок, включаючи: GSM, Bluetooth, EDGE, 3G і Wi-Fi.

Для обміну повідомленнями доступні як SMS, так і MMS-сервіси, включаючи і потокові повідомлення. На Android доступний браузер, розроблений на основі WebKit application framework, є можливість запускати програми на Java. Android підтримує формати аудіо/відео даних та зображень MPEG-4, H.264, MP3, AAC, AMR, JPG, PNG, GIF. З нестандартного обладнання присутня підтримка відеокamera, фотоапарата, тачскрина, GPS, компаса, акселерометра, прискорювача 3D графіки. У 2008 році ОНА опублікував вихідний код платформи Android. У реліз увійшов весь стек Android: операційна система, проміжне ПЗ (middleware), основні кінцеві додатки, написані на Java.

**iPhone** – ОС для мобільних пристроїв на основі ядра Darwin. Розмір самої ОС не перевищує 200 Мб. В новій версії в ОС є 110 нових функцій і можливостей. Дана система сумісна з такими пристроями, як iPhone 3G, 3GS, iPod Touch нового покоління. Принципова відмінність iOS 4 від усіх попередніх аналогів – з'явилися такі можливості, як одночасний запуск декількох додатків; спрощено роботу з браузером Safari; більш продумана інтеграція з різними сервісами [5].

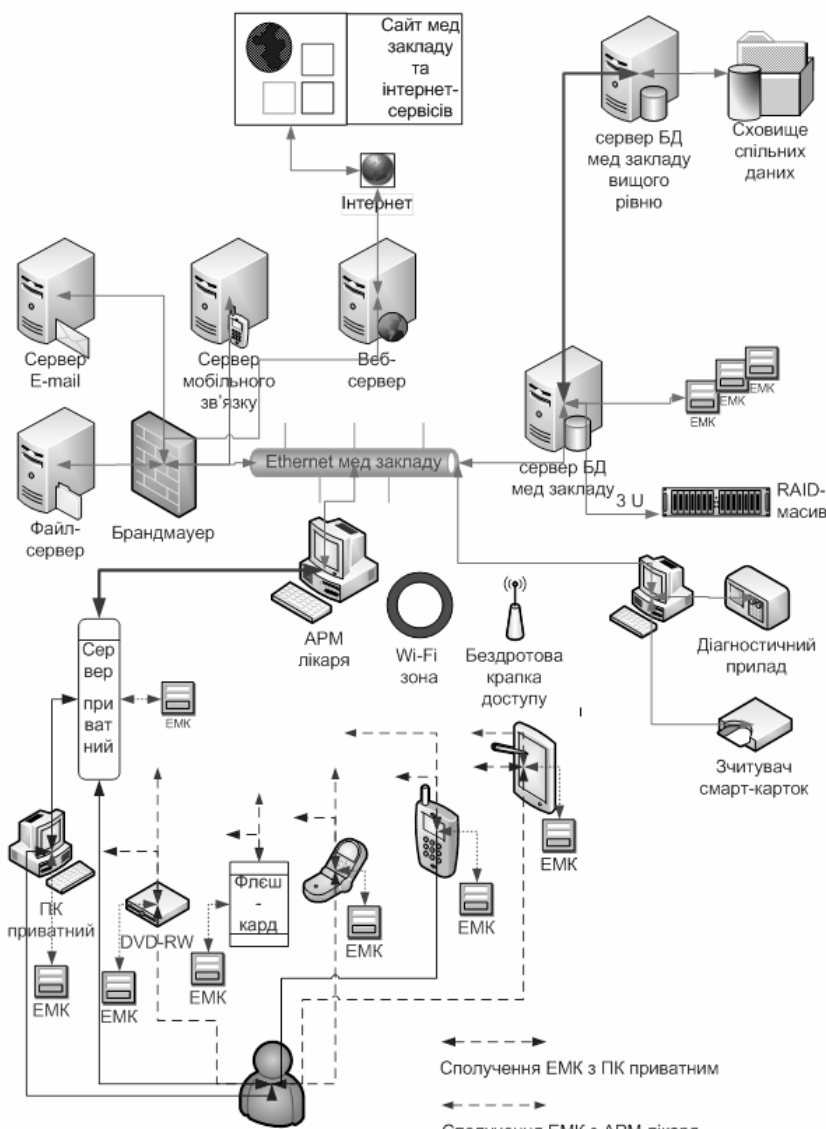
Розглядаючи мобільні пристрої, треба аналізувати їх здатність захищати конфіденціальні дані, які містяться в

МІС. Сучасні пристрої не лише значно спрощують та розширюють можливості комунікації, а й створюють загрозу безпеці через їхню здатність підключатися до Інтернету. Для усунення цієї небезпеки розроблено вже велику кількість антивірусів, наприклад, Kaspersky Mobile Security 9, призначених для захисту смартфонів на базі Android, Symbian, BlackBerry і Windows Mobile від шкідливого ПЗ шляхом здійснення низки заходів безпеки. У Android Market можна безкоштовно завантажити та встановити антивірусні додатки, які мають потужний функціонал [6].

Оцінювання проведено на основі вивчення Інтернет-ресурсів і не є абсолютно точним, але надає уявлення про ОС (таблиця).

Враховуючи наведені дані, можна вважати перспективною для розробки мобільних додатків ОС Android, яка є відкритою, поширеною, активно підтримується розробником, має невелику вартість додаткових модулів.

Порівняння ОС для мобільних пристроїв



Модель гетерогенного середовища сполучення EMK, розміщеної на пристроях різних типів, з інформаційною системою медичного закладу

№	Критерії оцінювання	Платформа			
		Windows phone	Symbian	Android	iOS
1	Розробник	Microsoft	Nokia	Google	Apple
2	Вік на ринку	1	12	3	3
3	Вихідний код	Закритий	Відкритий	Відкритий	Відкритий
4	Тип ядра	Гібридний	Мікроядро	Монолітне	Гібридний
5	Архітектури процесорів	ARM	ARM, x86	ARM, x86	ARM
6	Дружність інтерфейсу	5	3	5	4
7	Продуктивність системи	4	1	4	5
8	Багатозадачність	Ні	Так	Так	Так
9	Кількість додатків	50 000	100 000	630 000	480 000
10	Оновлення ОС	Fota/Data	Fota/Data	Fota/Data	Data

## 2. Проект ЕМК

На звичайному ПК встановлено програмні засоби Java SDK – JDK, Android SDK, Eclipse, ADT, платформи Android, запущено емулятор мобільного пристрою. Інтерфейс проекту мобільної ЕМК реалізовано на планшетному ПК Acer з ОС Android. Розроблений проект ЕМК (на момент написання статті) має форму для авторизації; основне меню програми, яка включає основні дані ЕМК, довідник ліків, довідник захворювань, форму синхронізації, форму передачі даних на сервер, додаткові модулі, які можливо підключити у платній версії програми; форми для введення та для перегляду даних. Для поширення ЕМК, яка розроблена на звичайному ПК, на інші ПК вона може бути запакована у формат .apk у програмі Eclipse і встановлений на будь-який мобільний пристрій, що працює на ОС Android.

**Отримані результати:** розроблено та створено проект мобільного додатку на ОС Android у вигляді ЕМК.

**Практичне значення роботи:** спроектована ЕМК на мобільному пристрої може бути використана для створення персональної системи моніторингу здоров'я людини.

**Подальший розвиток** програмної системи може здійснюватись у напрямі приведення ЕМК на мобільному пристрої у повну відповідність до форм МОЗУ, HL7, організації інтеграції та взаємодії ЕМК на мобільних пристроях різних типів з гетерогенним середовищем МІС.

## Висновок

Розроблено концепцію ЕМК для гетерогенного середовища МІС. Запропоновано відповідну модель і технічне рішення. Здійснено оцінювання та вибір ОС для мобільних пристроїв. Розроблено та створено проект мобільного додатку на ОС Android у вигляді електронної медичної карти на планшетному ПК Acer.

**Література:** 1. *Нечипоренко Ю. Л.* Інтерфейс електронної медичної картки на мобільному пристрої. Медична інформатика та інженерія. 2012. №4. С. 41-45. 2. *Symbian OS.* [http://www.smartphone.ua/w\\_symbian-os.html](http://www.smartphone.ua/w_symbian-os.html). 3. *Windows Mobile.* [http://www.smartphone.ua/w\\_windows-mobile.html](http://www.smartphone.ua/w_windows-mobile.html). 4. *Android OS.* [http://android.com.ua/android\\_os.html](http://android.com.ua/android_os.html). 5. *iPhone.* [http://www.smartphone.ua/w\\_ios-4.html](http://www.smartphone.ua/w_ios-4.html). 6. Додатки для Android. <http://www.android-market.com.ua/>.

Надійшла до редколегії 19.05.2014

**Рецензент:** д-р фіз.-мат. наук Корніч Г. В.

**Нечипоренко Юрій Леонідович**, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри програмування та інформаційних технологій, Енергодарський інститут державного та муніципального управління ім. Р. Г.Хеноха "Класичного приватного університету". Наукові інтереси: ПЗ для медичних інформаційних систем, фотоперетворювачі. Хоббі: гірський туризм, баскетбол, фото. Адреса: Україна, 71503, м. Енергодар Запорізької обл., вул. Комсомольська, 3а; тел./факс (06139) 33235, e-mail: humaniver.pro@gmail.com

---

---

## РЕФЕРАТИ

---

---

УДК 615.47:616-074

**Підвищення точності теоретичної калібровки та інформативності чвертьхвильових резонаторних давачів для НВЧ діагностики** / О.Ю. Панченко, М.І. Сліпченко, Г.М. Бородинка // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. № 2. С. 3-8.

У результаті аналізу фізичних процесів, аналітичної моделі і результатів чисельного експерименту визначено умови підвищення точності розрахунку параметрів чвертьхвильових резонаторних перетворювачів з коаксіальною вимірювальною апертурою. Показано вплив осової компоненти електричного поля. Подано опис алгоритму обчислень, який розроблено для визначення параметрів перетворювачів з складною структурою.

Л. 6. Бібліогр.: 11 назв.

---

---

УДК 517.977.56

**Оптимальне керування кінцевим температурним станом однорідного стрижня** / Н.В. Гибкіна, Д.Ю. Подусов, М.В. Сидоров // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. № 2. С. 9-15.

Розглянуто задачу оптимального керування нагріванням однорідного стрижня з теплоізолюваною боковою поверхнею. Визначено такий крайовий режим на кінцях стрижня, що в кінцевий момент часу приводить до розподілу температури в стрижні, якомога близького до бажаного розподілу. Наведено результати розв'язання задачі оптимального керування для різних типів крайових умов.

Л. 12. Бібліогр.: 11 назв.

---

---

УДК 519.681

**Отримання початкового опорного плану багатоіндексної задачі транспортної логістики** / О.Б. Ахїєзер, О.А. Геляровська, О.І. Дунаєвська, Н.Т. Процай // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. № 2. С. 16-18.

Запропоновано найпростіший шлях до побудови початкового опорного плану на прикладі трьохіндексної транспортної задачі. Отримано співвідношення для розрахунку елементів плану задачі, які легко узагальнюються на випадок довільного числа індексів. Розроблені методи розв'язання багатоіндексних транспортних задач. Запропоновано ефективний метод нуль-перетворення матриць для отримання початкового опорного плану.

Л. 2. Бібліогр.: 4 назв.

---

---

УДК 004.89

**Нейромережний евристичний аналізатор шкідливих програм з імунним навчанням** / М.М. Корабльов, М.В. Кушнар'юв, Д.П. Ужвій // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. № 2. С. 19-25.

Запропоновано евристичний аналізатор шкідливих програм, основним компонентом якого є штучна нейронна мережа у вигляді багатошарового перцептрона з імунним навчанням. Для вирішення завдання навчання використана модель кодування параметрів, що настроюються у вигляді адаптивного структурованого мультиантитіла, що дозволяє зменшити кількість нейронів в прихованому шарі і усунути, таким чином, надмірність нейронної мережі.

Л. 2. Бібліогр.: 12 назв.

---

---

## ABSTRACTS

---

---

UDC 615.47:616-074

**Increase of accuracy of theoretical calibration and informativeness of quarter-wave resonator sensors for microwave diagnostics** / A.Yu. Panchenko, N.I. Slipchenko, A.N. Borodkina // *Radioelektronika i informatika*. 2014. № 2. P. 3-8.

As a result of the analysis of physical processes, analytical model and numerical experiment conditions for increase the accuracy of calculation of parameters and informativeness quarter-wave resonator transducers with the coaxial measuring aperture, designed to near-field diagnostics. The contribution of the axial components of the electric field is shown. The description of algorithm of computation and assessment of boundaries of its application for transformers with difficult structure is received.

Fig. 6. Ref.: 11 items.

---

---

UDC 517.977.56

**The optimal control of a homogeneous rod final temperature state** / N.V. Gybkina, D.Yu. Podusov, M.V. Sidorov // *Radioelektronika i informatika*. 2014. № 2. P. 9-15.

The problem of optimal control of heating a homogeneous rod with insulated lateral surface were considered. The boundary mode on the ends of the rod, which leads at the final moment of time to the temperature distribution in the rod as close as possible to the desired distribution, were defined. The results of solving the problem of optimal control for various types of boundary conditions were obtained.

Fig. 12. Ref.: 11 items.

---

---

UDC 519.681

**Construction of an initial basic plan multi-index problem for bigger logistics** / O. Akhiezer, O. Gelyarovska, O. Dunaevska, N.Protsai // *Radioelektronika i informatika*. 2014. № 2. P. 16-18.

The paper proposes a simple way to build initial support program as an example the three-index transportation problem. Relations for the calculation of elements of the plan tasks that can be easily generalized to an arbitrary number of indices. Describes the relevant computational procedures.

Fig. 2. Ref.: 4 items.

---

---

UDC 004.89

**Neural-network heuristic analyzer of malware with immune learning** / N.M. Korablyov, M.V. Kushnaryov, D.P. Uzhvii // *Radioelektronika i informatika*. 2014. № 2. P. 19-25.

Heuristic analyzer of malware the main component of which is an artificial neural network as a multilayer perceptron with immune learning was proposed. To solve learning task using coding model of configurable parameters as an adaptive structured multiantibody that reduces the number of neurons in the hidden layer and eliminate of neural network redundancy. Carried out a simulation of the heuristic analyzer showing the effectiveness of the proposed approach.

Fig. 2. Ref.: 12 items.

---

---

УДК004:519.713

**Метрика для аналізу Big Data** / В.І. Хаханов, О.С. Міщенко, В.І. Обрізан, Тамі Бані Амер // Радіоелектроніка та інформатика. 2014. № 2. С. 26-29.

Запропонована інфраструктура забезпечення паралельного аналізу big data для пошуку, розпізнавання та прийняття рішень на основі використання запропонованої метрики кіберпростору. Використана метрика аналізу кіберпростору (big data), яка характеризується наявністю єдиної логічної хог-операції для визначення кібер-відстані шляхом циклічного замикання не менше одного об'єкта, що дає можливість на порядок підвищити швидкість аналізу даних.

Лл. 6. Бібліогр.: 17 назв.

---

---

УДК621.313:004.89

**Застосування алгоритму тренування нейронної мережі прямого розповсюдження для оптимізації налаштувань дискретного регулятора** / І.С. Конох // Радіоелектроніка та інформатика. 2014. № 2. С. 30-34.

Викладено підхід до створення дискретного регулятора як штучної нейронної мережі прямого розповсюдження, що складається з трьох нейронів з лінійною одиничною функцією активації. Налаштування регулятора відбувається відповідно до алгоритму тренування нейронної мережі, який базується на аналізі функціоналу якості. Розробку можна адаптувати для керування комплексами силовий перетворювач-двигун. Програмне забезпечення, створене в середовищі LabView 8.X, дозволяє візуалізувати процес керування, аналізувати якість керування і використовується в учбовому процесі.

Табл. 3. Лл. 9. Бібліогр.: 4 назви.

---

---

УДК004.056

**Захист від спаму в Інтернет-просторі** / В. Г. Абдуллаєв // Радіоелектроніка та інформатика. 2014 № 2. С.35-38. Розглянуті основні методи і правила для ефективної боротьби з рекламними повідомленнями. Також розглянуто методи фільтрації поштових повідомлень на стороні сервера. Запропоновані варіанти протидії способам обходу методів фільтрації і захисту від рекламних повідомлень.

Лл. 2. Бібліогр.: 6 назв.

---

---

УДК004.03

**Математичні методи синтезу складних систем паралельної обробки даних та їх налаштування у комп'ютерному зорі** / В.В. Грицик, В.В. Грицик, Є.В. Буров, О.Б. Вовк, Ю.В. Ришковець А.М. Зозуля // Радіоелектроніка та інформатика. 2014. № 2. С. 39-44.

Запропоновані математичні методи синтезу складних систем паралельної обробки даних та їх налаштування у комп'ютерному зорі на основі класифікованих функціональних можливостей.

Лл. 7. Бібліогр.: 5 назв.

---

---

UDC004:519.713

**Metrics for analyzing Big Data** / V. I. Hahanov, A.S. Mishchenko, V.I. Obrizan, Tami Bani Amer // Radioelektronika i informatika. 2014. № 2. P. 26-29.

An infrastructure for parallel analyzing big data is proposed to search, pattern recognition and decision-making through the use of the developed cyberspace metric. The metric of cyberspace (big data) analysis is used; it is characterized by the presence of a single logical xor-operation to determine the cyber distance by cyclical closing at least one object, which allows significantly increasing the speed of data analysis.

Fig. 6. Ref.: 17 items.

---

---

UDC621.313:004.89

**Application of the algorithm feedforward neural network training to optimize the setup of digital controller** / I.S. Konokh // Radioelektronika i informatika. 2014. № 2. P.30-34.

The paper describes an approach to the creation of a discrete controller as artificial feedforward neural network, which consisting of three single neurons with linear activation function. Control setting is in accordance with the training of the neural network algorithm, based on the analysis of the quality criterion. Development can be adapted to the control of the power converter, the engine. Software developed on environment LabView 8.X. It visualizes the control process, analyzing the control quality and is used in the learning process.

Tab. 3. Fig. 9. Ref.: 4 items.

---

---

УДК004.056

**Protection against spam in internet space** / V.H. Abdullayev // Radioelektronika i informatika. 2014. № 2. P. 35-38.

In the article main methods and rules for effective control of advertising messages are considered. Methods of mail messages filtering on the side of server are also considered. And the options against the ways of bypassing the filtering and protection of advertising messages are offered.

Fig. 2. Ref.: 6 items.

---

---

UDC004.05

**The method of evaluating the quality of multimedia Web systems** / V.V. Grycyk, V.V. Grycyk, O.B. Vovk, Yu. V. Ryshkovets, A.M. Zozulya // Radioelektronika i informatika. 2014. № 2. P. 39-44.

The mathematical methods for the synthesis of complex systems of parallel data processing and installation of computer dawn classified based on functionality.

Fig. 7. Ref.: 5 items.

---

---

УДК 666.97+004

**Сучасні інформаційні технології для визначення складу бетону** / І.А. Міхеєв // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. № 2. С. 44-48.

Сучасний рівень розвитку технологій бетону вимагає застосування інформаційних систем і систем штучного інтелекту при розв'язанні низки складних задач. Розглянуто використання програмного забезпечення для розв'язання задачі проектування складу бетону.

Л. 7. Бібліогр.: 15 назв.

---

---

УДК 004.42

**Електронна медична картка на планшетному ПК**/Ю.Л. Нечипоренко // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. № 2. С. 49-51.

Розроблено концепцію електронної медичної картки для гетерогенного середовища медичних інформаційних систем різного рівня. Запропоновано відповідну модель і технічне рішення. Здійснено огляд та оцінювання операційних систем для мобільних пристроїв. Розроблено та створено проект мобільного додатку на ОС Android у вигляді електронної медичної карти на планшетному ПК Acer.

Табл. 1. Л. 1. Бібліогр.: 6 назв.

---

---

UDC 666.97+004

**Modern information technology for definition composition of the concrete**/I.A. Mikheev // *Radioelektronika i informatika*. 2014. № 2. P. 44-48.

Current technology of concrete requires the use information systems and artificial intelligence for solving a number complex tasks. Article is devoted questions of the use software to solve task of concrete mix design.

Fig. 7. Ref.: 15 items.

---

---

UDC 004.42

**Electronic medical card on a mobile device**/ Y. L. Nechiporenko // *Radioelektronika i informatika*. 2014. № 2. P. 49-51.

Electronic medical card concept is developed for medical information systems of heterogeneous environment. A necessary modelling and technical solution is presented. Evaluation for mobile devices' operational systems is done. A mobile application for OS Android/Acer tablet is developed as an electronic medical card.

Tab. 1. Fig. 1. Ref.: 6 items.

## ПРАВИЛА

оформления рукописей для авторов  
научно-технического журнала

### "Радиоэлектроника и информатика"

**Тематика:** радиотехника; электроника; телекоммуникации; компьютерные науки; компьютерная инженерия и техническая диагностика; системы и процессы управления; информационные технологии в науке, образовании, культуре, медицине, экономике, экологии, социологии.

**Формат страницы** — А4 (210x297 мм), поля: сверху — 15, справа, слева, снизу — 20 мм. Количество колонок — 2, интервал между ними — 5 мм. Редактор: Pagemaker 6.0 (можно, но нежелательно Word), гарнитура Times ET (Times New Roman Cyr), кегль — 10 пунктов, межстрочное расстояние — 110%, табуляция — 5 мм.

Объем рукописи — от 2 до 10 с. (языки: русский, украинский, английский). Текст рукописи должен быть структурирован и содержать все *основные части, характерные для научной статьи*: **введение** (отражает *актуальность*, формулирование *цели и задач* исследования); **сущность** (изложение основного материала исследования с описанием идеи, метода, и обоснованием полученных научных результатов); **выводы** (отражают результаты исследования, их *научную новизну* и *практическую значимость*, сравнение с лучшими аналогами, перспективы).

**Структура рукописи:** заголовок, аннотация, текст, литература, реферат (на украинском и английском языках), сведения об авторах.

#### ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ

УДК 519.713

#### НАЗВАНИЕ РУКОПИСИ

*ФАМИЛИЯ И.О.*

(Название желаемого раздела тематики)

**Аннотация** (на языке статьи, абзац 5-10 строк, кегль 9) помещается в начале статьи и содержит информацию о результатах описанных исследований.

Основной текст можно разделять на 2 и более подразделов с заголовками, выделенными полужирным шрифтом, пронумерованными арабскими цифрами, как показано в следующей строке.

#### 1. Название раздела

**Рисунки и таблицы** (черно-белые, контрастные) помещаются в текст после первой ссылки в виде *переносимых объектов* и отдельно нумеруются, при наличии более одного рисунка (таблицы), арабскими цифрами. Рисунок содержит подрисовочную центрированную подпись под иллюстрацией (вне рисунка), как показано на рис. 1.

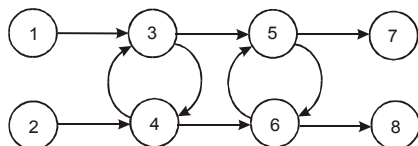


Рис. 1. Граф с контурами

Табличный заголовок располагается справа над таблицей (вне таблицы), что иллюстрируется табл. 1. Редакторы: CorelDraw, Table Editor, Excel.

Таблица 1

Шаг i	1	2	3	4	5	6
$\Phi(1,3)$	1	2	2	4	6	1

**Формулы** нумеруются при наличии ссылок на них в рукописи. Формулы, символы, переменные, встречающиеся в тексте, должны быть набраны как объекты Microsoft Equation. Рекомендуются высота формульных кеглей: переменная — 10 пунктов, индекс — 8, над- и подиндекс — 8, основной (индексный) математический символ — 12(10):

$$F_{i+i} = \sum_{i=1}^k F_j^i - \prod_{j=1}^{1+h} P_{R_{j+i}} + F^{j-1} + X \sum n^k. \quad (1)$$

Формат переменных (желательно не курсивом — без наклона) в тексте и формулах должен быть идентичным. В тексте над- и подиндексы составляют 70 % от высоты кегля, которые рекомендуются опускать (поднимать) на 17 (33) % относительно основной строки.

**Литература** (включает опубликованные источники, на которые имеются ссылки в тексте, заключенные в квадратные скобки) печатается без отступа, кегль 9 пунктов.

Образец окончания текста рукописи (литература, сведения об авторах, реферат) представлен ниже.

**Литература:** 1. *Фамилия И.О.* Название книги. Город: Издательство, 1900. 000 с. 2. *Название сборника / Под ред. И.О. Фамилия.* Город: Издательство, 1900. 000 с. 3. *Фамилия И.О.* Название статьи // Название журнала. Название серии. 1997. Т. 00, № 00. С. 00-00.

Поступила в редколлегию 00.00.00

**Рецензент:** должность, ученая степень, Фамилия, И.О.

**Фамилия, имя, отчество**, ученая степень, звание, должность и место работы. Научные интересы. Увлечения и хобби. Адрес, контактные телефоны.

Рефераты представляются на украинском и английском языках.

УДК 000.000.00

**Назва статті /Ініціали. Прізвище //** Радиоелектроніка та інформатика. 2000. № 00. С. 00-00.

Текст реферату.

Табл. 00. Лл. 00. Бібліогр.: 00 назв.

UDC 000.000.00

**Title of paper /Initials. Surname //** Radioelektronika i informatika. 2000. N 00. P. 000-000.

Text.

Tab. 00. Fig. 00. Ref.: 00 items.

#### Представление материалов

Рукопись, рефераты, сведения об авторах — в одном файле, *поименованном фамилией автора*, на дискете 3,5 дюйма. Твердая копия материалов — для граждан Украины — в одном экземпляре: рукопись, подписанная авторами, рефераты, акт экспертизы, внешняя рецензия, подписанная доктором наук, заявление на имя главного редактора со сведениями об авторах.

**Адрес редакции:** Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, ХНУРЭ, комната 321, тел. 70-21-326, e-mail: ri@kture.kharkov.ua; hahanov@kture.kharkov.ua. <http://www.ewdtest.com/ri>

Рекомендовано Ученым советом Харьковского национального университета радиоэлектроники (протокол № 10 от 27.06.2014)

Підписано до друку 27.06.2014. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.

Умов. друк. арк. 10,8. Зам. № б/н. Тираж 300 прим. Ціна договірна.

Віддруковано у СПД ФО Степанов В.В.

61168, Харків, Акад. Павлова, 311.