

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса»
(ГОУ ВПО «ЮРГУЭС»)
Волгодонский институт сервиса (филиал) ГОУ ВПО «ЮРГУЭС»

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Сборник научных трудов



ШАХТЫ
ГОУ ВПО «ЮРГУЭС»
2009

УДК 004
ББК 32.97
И741

Редакционная коллегия:

А.Н. Береза, к.т.н., доцент (председатель редакционной коллегии);

Д.А. Безуглов, д.т.н., профессор;

И.А. Ким, к.т.н., доцент;

А.В. Коротков, д.ф.-м.н., академик МАСИ;

В.М. Курейчик, д.т.н., профессор;

В.Е. Мешков, к.т.н., профессор;

Н.Н. Никуличев, к.т.н., доцент;

В.В. Семенов, к.т.н., доцент

И741 Информационные системы и технологии. Теория и практика :
сб. науч. тр. / редкол. : А.Н. Береза [и др.]. – Шахты : ГОУ ВПО
«ЮРГУЭС», 2009. – 210 с.
ISBN 978-5-93834-505-8

В тематическом сборнике «Информационные системы и технологии. Теория и практика» включены работы ученых, проводящих исследования в следующих областях: теоретические основы информатики, интеллектуальные информационные системы, оптоинформатика, системы автоматизации проектирования, моделирование технических систем, программная инженерия, вычислительные системы, геоинформационные технологии, информационные технологии в образовании.

Настоящий сборник предназначен для широкого круга научных работников и специалистов, а также студентам старших курсов, магистрантам и аспирантам.

УДК 004
ББК 32.97

Тексты набраны с авторских оригиналов. Редакционная коллегия приносит извинения за возможные неточности, возникшие в процессе компьютерной верстки издания.

ISBN 978-5-93834-505-8

© ГОУ ВПО «Южно-Российский государственный
университет экономики и сервиса», 2009
© ВИС (филиал) ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2009

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
--------------------------	----------

РАЗДЕЛ 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ

Коротков А.В. Многомерные целочисленные алгебры	6
Коротков А.В. Особенности полиномиальных уравнений второй степени с тремя переменными в целых числах.....	15
Коротков А.В., Чураков В.С. Многочисленные алгебры логики, булевы многомерные алгебры и дискретные (многомерные целочисленные) алгебры	24
Безуглов Д.А., Миронович Д.В. Оптимизация (минимизация) вычислительных затрат расчета коэффициентов сглаживающего кубического в-сплайна при использовании метода оценки неизвестной плотности распределения случайной величины	28

РАЗДЕЛ 2 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Бегляров В.В. Бионические методы разработки интеллектуальных систем	33
Бережа А.Н., Ляшов М.В. Генетический нечеткий контроллер	44
Мешкова Е.В., Кочковая Н.В. Принципы и апробация гибридного метода классификации текстовой информации.....	53
Мешкова Е.В. Анализ современных методов обработки текстовой информации для автоматической классификации документов	61
Бабкина Т.А., Мешков В.Е. Сравнительный анализ нечетких логических систем.....	73
Мешков В.Е., Мешкова Е.В., Чураков В.С. Представления времени в искусственных системах, в системотехнике и темпоральность электронных элементов в аномальных режимах работы	79

РАЗДЕЛ 3 ОПТОИНФОРМАТИКА

Васильев В.Н., Павлов А.В. О применимости голографии Фурье в проблеме моделирования творческого мышления	91
Семенов В.В., Ханжонков Ю.Б., Асцатуров Ю.Г. Разработка телевизионного анализатора формы и размеров аэрозолей	100
Безуглов Д.А., Сахаров И.А. Разработка и исследование топологии гибридного (смешанного) датчика волнового фронта	109

РАЗДЕЛ 4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Валюкевич Ю.А., Наумов И.И., Алепко А.В. Компьютерная модель двухзвенного манипулятора с повышенными силомоментными характеристиками.....	117
Валюкевич Ю.А., Толстунов О.Г. Моделирование кинематики тросового грузоподъемного механизма в среде MATLAB.....	122
Токарев А.А., Мешков В.Е. Архитектура программного комплекса для автоматизированного проектирования котлоагрегатов	128

РАЗДЕЛ 5 ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

Безуглов Д.А., Николенко Ю.В. Базы данных: новые требования и новые подходы в проектировании.....	133
Мешков В.Е., Ермолаева Н.В. Эволюционное моделирование топологии локальной вычислительной сети	135

РАЗДЕЛ 6 ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Ермолаева Н.В., Мешков В.Е., Борзов Д.Б. Проектирование устройства для повышения производительности ЭВМ	149
Ермолаева Н.В., Литвин Н.В. Применение термоэлектрических охлаждающих устройств с повышенной добротностью в информационных системах	154

РАЗДЕЛ 7 ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Kim I.I., Kim I.A. Regional evapotranspiration estimation using remote sensing and gis techniques	160
--	-----

РАЗДЕЛ 8 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Светлаков А.Н. О роли когнитивной составляющей в преподавании высшей математики в технических вузах.....	176
Писаренко В.И. Синергетические принципы в лингвистике.....	185
Никуличев Н.Н. Электронное учебное пособие по дисциплине «Мультимедиа технологии».....	193
Ершова Е.А. Особенности информатизации системы высшего образования.....	201

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время развитие информационных систем и технологий основывается на разработке новых математических и алгоритмических средств, интеллектуальных методов и моделей, совершенствовании полупроводниковых и оптических технологий.

Сборник состоит из восьми тематических разделов: «Теоретические основы информатики», «Интеллектуальные информационные системы», «Оптоинформатика», «Моделирование технических систем», «Программная инженерия», «Вычислительные системы», «Геоинформационные технологии», «Информационные технологии в образовании».

В первый раздел включены работы, посвященные теоретическим основам информатики. В работах отражены новые научные знания о применении перспективных математических концепций для создания информационных систем основанных на новых принципах многомерных пространств (в частности семимерных алгебр), а также сногомерных булевых и не булевых алгебр логики.

Во втором разделе представлены работы, предлагающие новые подходы к построению интеллектуальных информационных систем.

В третьем разделе собраны научные работы, касающиеся нового перспективного направления – оптоинформатика.

В четвертый раздел включены работы, в которых предложены новые информационные модели и алгоритмы для моделирования сложных технических систем.

В пятом разделе представлены работы, в которых предлагаются новейшие подходы к созданию баз данных и моделированию информационных сетей.

Шестой раздел посвящен технологическим и системотехническим аспектам разработки новых высокоэффективных информационных систем.

В седьмом разделе представлена работа, касающаяся нового перспективного направления—геоинформационные системы.

В восьмом разделе представлены работы по проблемам информатизации образования и внедрению перспективных информационных технологий в образование.

Настоящий сборник предназначен для широкого круга инженерных и научных работников, аспирантов, магистрантов и студентов старших курсов, научные интересы которых связаны с разработкой и использованием информационных систем и технологий, основанных на новейших принципах.

Сборник подготовлен при непосредственном участии сотрудников кафедры «Информатика» ВИС ЮРГУЭС.

Редакционная коллегия заранее благодарна за отзывы и замечания, которые следует направлять по адресу: 347375, Россия, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Черникова, 6, ВИС ЮРГУЭС, кафедра «Информатика».

РАЗДЕЛ 1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ

УДК 519.6

Коротков А.В.

МНОГОМЕРНЫЕ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫЕ АЛГЕБРЫ

В литературе повсеместно рассматриваются алгебры над полем действительных чисел [1]. Вместе с тем, представляют определенный интерес алгебры над кольцами целых чисел и классов сравнений по модулю. Практическая значимость таких алгебр может быть в использовании указанных алгебр в физических приложениях, где дискретность величин приобретает существенное значение. В случае применения одномерных колец целых чисел или классов сравнений по модулю имеют место очевидные действия [2].

Одномерные числа

I. Определение одномерных чисел.

Одномерными числами $\mathbf{a}$ назовем элементы колец дискретных чисел $\mathbf{a}=(a_0)$, для которых понятия равенства, суммы, произведения и отождествления некоторых чисел вводятся согласно следующим определениям (аксиомам):

1. Числа $\mathbf{a}=(a_0)$ и $\mathbf{b}=(b_0)$ считаются равными в том и только в том случае, когда равны их соответствующие компоненты.

В символической записи: $\mathbf{a}=\mathbf{b}$

или $(a_0)=(b_0)$, если $a_0=b_0$.

2. Суммой чисел $\mathbf{a}=(a_0)$ и $\mathbf{b}=(b_0)$ называется число $\mathbf{a}+\mathbf{b}=(a_0+b_0)$, т.е.

$$\mathbf{a}+\mathbf{b}=(a_0)+(b_0)=(a_0+b_0).$$

3. Произведением чисел $\mathbf{a}=(a_0)$ и $\mathbf{b}=(b_0)$ называется число

$$\mathbf{ab}=(a_0b_0),$$

т.е. $\mathbf{ab}=(a_0)(b_0)=(a_0b_0),$

4. Число (a_0) отождествляется с числом a_0 , т.е. $(a_0)=a_0$.

При этом из аксиом 3 и 4 следует

$$m\mathbf{a}=(m)(a_0)=(ma_0),$$

т.е. $m\mathbf{a}=(ma_0),$

где m – одномерное число.

II. Свойства действий.

1. Ассоциативность сложения:

$$(a+b)+c=((a_0)+(b_0))+(c_0)=((a_0+b_0)+c_0),$$

$$a+(b+c)=(a_0)+((b_0)+(c_0))=(a_0+(b_0+c_0)),$$

т.е.

$$(a+b)+c=a+(b+c).$$

2. Коммутативность сложения:

$$a+b=(a_0)+(b_0)=(a_0+b_0),$$

$$b+a=(b_0)+(a_0)=(b_0+a_0),$$

т.е.

$$a+b=b+a.$$

3. Наличие нуля:

$$a+0=(a_0)+(0)=(a_0+0)=(a_0),$$

т.е. $a+0=a$, так что число (0) отождествляется с числом 0 .

4. Наличие противоположного числа:

$$a+(-a)=(a_0)+(-a_0)=(a_0-a_0)=(0),$$

т.е. $a+(-a)=0$, так что число $(-a_0)$ отождествляется с числом $-a$.

5. Ассоциативность умножения:

$$(ab)c=((a_0)(b_0))(c_0)=(a_0b_0)(c_0),$$

$$a(bc)=(a_0)((b_0)(c_0))=(a_0)(b_0c_0),$$

т.е.

$$(ab)c=a(bc).$$

6. Коммутативность умножения:

$$ab=(a_0)(b_0)=(a_0b_0),$$

$$ba=(b_0)(a_0)=(b_0a_0),$$

т.е.

$$ab=ba.$$

7. Дистрибутивность:

$$(a+b)c=((a_0)+(b_0))(c_0)=(a_0+b_0)(c_0)=((a_0+b_0)c_0),$$

$$ac+bc=(a_0c_0)+(b_0c_0)=((a_0+b_0)c_0),$$

т.е.

$$(a+b)c=ac+bc.$$

8. Наличие единицы:

$$a1=(a_0)(1)=(a_01)=(a_0)=a.$$

Итак, одномерные числа составляют коммутативное, ассоциативное кольцо с единицей.

В координатной форме записи операция умножения двух одномерных чисел может быть представлена в виде:

$$ab=(a_0b_0).$$

Двумерные числа

I. Определение двумерных чисел.

Двумерными числами a назовем упорядоченные пары $a=(a_0, a_1)$ одномерных чисел a_i , для которых понятия равенства, суммы, произведения и отождествления некоторых пар с одномерными числами вводятся согласно следующим определениям (аксиомам):

1. Пары одномерных чисел $a=(a_0, a_1)$ и $b=(b_0, b_1)$ считаются равными в том и только в том случае, когда равны их соответствующие компоненты.

В символической записи: $\mathbf{a}=\mathbf{b}$

или $(a_0, a_1)=(b_0, b_1)=\begin{cases} a_0=b_0, \\ a_1=b_1. \end{cases}$

2. Суммой пар $\mathbf{a}=(a_0, a_1)$ и $\mathbf{b}=(b_0, b_1)$ называется пара $\mathbf{a}+\mathbf{b}=(a_0+b_0, a_1+b_1)$, т.е.

$$\mathbf{a}+\mathbf{b}=(a_0, a_1)+(b_0, b_1)=(a_0+b_0, a_1+b_1).$$

3. Произведением пар $\mathbf{a}=(a_0, a_1)$ и $\mathbf{b}=(b_0, b_1)$ называется пара

$$\mathbf{ab}=(a_0b_0+\alpha b_1a_1, a_0b_1+b_0a_1),$$

т.е.

$$\mathbf{ab}=(a_0, a_1)(b_0, b_1)=(a_0b_0+\alpha b_1a_1, a_0b_1+b_0a_1),$$

где $\alpha = \pm 1$ или 0 , причем $\alpha = -1$ соответствует собственноккомплексному, $\alpha = 1$ – псевдокомплексному, а $\alpha = 0$ – дуальнокомплексному расширению одномерных чисел [1].

4. Пара $(a_0, 0)$ отождествляется с одномерным числом a_0 , т.е. $(a_0, 0)=a_0$.

В данном определении двумерных чисел, составными частями которого являются определения их равенства, суммы и произведения, нет речи о каком-либо извлечении квадратного корня из отрицательных или положительных чисел, а также нуля. Все определения формулируются в терминах одномерных чисел и действий над ними.

При этом из аксиом 3 и 4 следует

$$m\mathbf{a}=(m, 0)(a_0, a_1)=(ma_0+\alpha a_1 0, ma_1+a_0 0)=(ma_0, ma_1),$$

т.е.

$$m\mathbf{a}=(ma_0, ma_1),$$

где m – одномерное число.

Пары $\mathbf{a}=(a_0, a_1)$ и $\bar{\mathbf{a}}=(a_0, -a_1)$, отличающиеся знаком второй компоненты, называются сопряженными. Умножив сопряженные пары

$$\mathbf{a}\bar{\mathbf{a}}=(a_0, a_1)(a_0, -a_1)=(a_0a_0-\alpha a_1a_1, a_0a_1-a_0a_1)=(a_0^2-\alpha a_1^2, 0),$$

т.е.

$$\mathbf{a}\bar{\mathbf{a}}=a_0^2-\alpha a_1^2,$$

так что их произведение равно одномерному числу, которое равно нулю, если: $a_0^2=a_1^2=0$ при $\alpha = -1$, $a_0^2=a_1^2$ при $\alpha = 1$, $a_0^2=0$ при $\alpha = 0$.

Двумерные числа обладают следующими свойствами:

1. $\bar{\bar{\mathbf{a}}}=(\bar{a_0}, -\bar{a_1})=(a_0, a_1)=\mathbf{a},$

т.е.

$$\bar{\bar{\mathbf{a}}}=\mathbf{a}.$$

2. $\overline{\mathbf{ab}}=(a_0b_0+\alpha b_1a_1, -(a_0b_1+b_0a_1)),$

$$\bar{\mathbf{b}}\bar{\mathbf{a}}=(b_0, -b_1)(a_0, -a_1)=(b_0a_0+\alpha a_1b_1, -(b_0a_1+a_0b_1)),$$

т.е.

$$\overline{\mathbf{ab}}=\bar{\mathbf{b}}\bar{\mathbf{a}}.$$

3. $\mathbf{a}+\bar{\mathbf{a}}=(a_0, a_1)+(a_0, -a_1)=(a_0+a_0, 0),$

т.е. сумма сопряженных чисел является одномерным числом.

4. $\overline{\mathbf{a}+\mathbf{b}}=(a_0+b_0, -(a_1+b_1))=(a_0, -a_1)+(b_0, -b_1)=\bar{\mathbf{a}}+\bar{\mathbf{b}}.$

II. Свойства действий.

1. Ассоциативность сложения:

$$(a+b)+c=((a_0, a_1)+(b_0, b_1))+(c_0, c_1)=((a_0+b_0)+c_0, (a_1+b_1)+c_1),$$

$$a+(b+c)=(a_0, a_1)+((b_0, b_1)+(c_0, c_1))=(a_0+(b_0+c_0), a_1+(b_1+c_1)).$$

В силу ассоциативности сложения одномерных чисел $(a+b)+c=a+(b+c)$.

2. Коммутативность сложения:

$$a+b=(a_0, a_1)+(b_0, b_1)=(a_0+b_0, a_1+b_1),$$

$$b+a=(b_0, b_1)+(a_0, a_1)=(b_0+a_0, b_1+a_1).$$

В силу коммутативности сложения одномерных чисел $a+b=b+a$.

3. Наличие нуля:

$$a+0=(a_0, a_1)+(0, 0)=(a_0+0, a_1+0)=(a_0, a_1),$$

т.е. $a+0=a$, так что пара $(0, 0)$ отождествляется с одномерным числом 0 .

4. Наличие противоположного числа:

$$a+(-a)=(a_0, a_1)+(-a_0, -a_1)=(a_0-a_0, a_1-a_1)=(0, 0),$$

т.е. $a+(-a)=0$, так что пара $(-a_0, -a_1)$ отождествляется с числом $-a$.

5. Ассоциативность умножения:

$$(ab)c=((a_0, a_1)(b_0, b_1))(c_0, c_1)=(a_0b_0+\alpha b_1a_1, a_0b_1+b_0a_1)(c_0, c_1)=$$

$$=((a_0b_0+\alpha b_1a_1)c_0+\alpha c_1(a_0b_1+b_0a_1), (a_0b_0+\alpha b_1a_1)c_1+c_0(a_0b_1+b_0a_1)),$$

$$a(bc)=(a_0, a_1)((b_0, b_1)(c_0, c_1))=(a_0, a_1)(b_0c_0+\alpha c_1b_1, b_0c_1+c_0b_1)=$$

$$=(a_0(b_0c_0+\alpha c_1b_1)+\alpha (b_0c_1+c_0b_1)a_1, a_0(b_0c_1+c_0b_1)+(b_0c_0+\alpha c_1b_1)a_1).$$

В силу коммутативности умножения одномерных чисел $(ab)c=a(bc)$.

6. Коммутативность умножения:

$$ab=(a_0, a_1)(b_0, b_1)=(a_0b_0+\alpha b_1a_1, a_0b_1+b_0a_1),$$

$$ba=(b_0, b_1)(a_0, a_1)=(b_0a_0+\alpha a_1b_1, b_0a_1+a_0b_1).$$

В силу коммутативности умножения одномерных чисел $ab=ba$.

7. Дистрибутивность:

$$(a+b)c=((a_0, a_1)+(b_0, b_1))(c_0, c_1)=(a_0+b_0, a_1+b_1)(c_0, c_1)=$$

$$=((a_0+b_0)c_0+\alpha c_1(a_1+b_1), (a_0+b_0)c_1+c_0(a_1+b_1)),$$

$$ac+bc=(a_0c_0+\alpha c_1a_1, a_0c_1+c_0a_1)+(b_0c_0+\alpha c_1b_1, b_0c_1+c_0b_1)=$$

$$=((a_0+b_0)c_0+\alpha c_1(a_1+b_1), (a_0+b_0)c_1+c_0(a_1+b_1)),$$

т.е.

$$(a+b)c=ac+bc.$$

8. Наличие единицы:

$$a1=(a_0, a_1)(1, 0)=(a_01+\alpha 0a_1, a_00+1a_1)=(a_0, a_1)=a.$$

Итак, двумерные числа составляют коммутативное, ассоциативное кольцо с единицей.

В координатной форме записи операция умножения двух двумерных чисел может быть представлена в виде:

$$ab=(a_0b_0+\alpha b_1a_1,$$

$$a_0b_1+b_0a_1).$$

Четырехмерные числа

I. Определение четырехмерных чисел.

Четырехмерными числами $\mathbf{a}$ назовем упорядоченные пары $\mathbf{a}=(a_0, a_1)$ двумерных чисел a_i , для которых понятия равенства, суммы, произведения и отождествления некоторых пар с двумерными числами вводятся согласно следующим определениям (аксиомам):

1. Пары двумерных чисел $\mathbf{a}=(a_0, a_1)$ и $\mathbf{b}=(b_0, b_1)$ считаются равными в том и только в том случае, когда равны их соответствующие компоненты.

В символической записи: $\mathbf{a}=\mathbf{b}$

или
$$(a_0, a_1)=(b_0, b_1)=\begin{cases} a_0=b_0, \\ a_1=b_1. \end{cases}$$

2. Суммой пар $\mathbf{a}=(a_0, a_1)$ и $\mathbf{b}=(b_0, b_1)$ называется пара $\mathbf{a}+\mathbf{b}=(a_0+b_0, a_1+b_1)$, т.е.

$$\mathbf{a}+\mathbf{b}=(a_0, a_1)+(b_0, b_1)=(a_0+b_0, a_1+b_1).$$

3. Произведением пар $\mathbf{a}=(a_0, a_1)$ и $\mathbf{b}=(b_0, b_1)$ называется пара

$$\mathbf{ab}=(a_0b_0+\alpha b_1\bar{a}_1, \bar{a}_0b_1+b_0a_1),$$

т.е.

$$\mathbf{ab}=(a_0, a_1)(b_0, b_1)=(a_0b_0+\alpha b_1\bar{a}_1, \bar{a}_0b_1+b_0a_1),$$

где $\alpha = \pm 1$ или 0 , причем $\alpha = -1$ соответствует собственноккомплексному, $\alpha = 1$ – псевдокомплексному, а $\alpha = 0$ – дуальнокомплексному расширению двумерных чисел [1].

4. Пара $(a_0, 0)$ отождествляется с двумерным числом.

Пары $\mathbf{a}=(a_0, a_1)$ и $\bar{\mathbf{a}}=(\bar{a}_0, -a_1)$, отличающиеся сопряжением первой и знаком второй компоненты, называются сопряженными. Умножив сопряженные пары

$$\mathbf{a}\bar{\mathbf{a}}=(a_0, a_1)(\bar{a}_0, -a_1)=(a_0\bar{a}_0-\alpha a_1\bar{a}_1, -\bar{a}_0a_1+\bar{a}_0a_1)=(|a_0|^2-\alpha|a_1|^2, 0),$$

т.е.

$$\mathbf{a}\bar{\mathbf{a}}=|a_0|^2-\alpha|a_1|^2,$$

так что их произведение равно одномерному числу, которое равно нулю, если: $|a_0|^2=|a_1|^2=0$ при $\alpha=-1$, $|a_0|^2=|a_1|^2$ при $\alpha=1$, $|a_0|^2=0$ при $\alpha=0$.

Четырехмерные числа обладают следующими свойствами:

1.
$$\bar{\bar{\mathbf{a}}}=(\bar{\bar{a}_0}, -\bar{a}_1)=(\bar{a}_0, a_1)=(a_0, a_1)=\mathbf{a},$$

т.е.

$$\bar{\bar{\mathbf{a}}}=\mathbf{a}.$$

2.
$$\begin{aligned} \overline{\mathbf{ab}} &= (\overline{a_0b_0 + \alpha b_1\bar{a}_1}, -(\bar{a}_0b_1 + b_0a_1)) = \\ &= (\bar{b}_0\bar{a}_0 + \alpha a_1\bar{b}_1, -(\bar{a}_0b_1 + b_0a_1)), \end{aligned}$$

$$\bar{\mathbf{b}}\bar{\mathbf{a}}=(\bar{b}_0, -b_1)(\bar{a}_0, -a_1)=(\bar{b}_0\bar{a}_0+\alpha a_1\bar{b}_1, -(b_0a_1+\bar{a}_0b_1)),$$

т.е.

$$\overline{\mathbf{ab}}=\bar{\mathbf{b}}\bar{\mathbf{a}}.$$

3.
$$\mathbf{a}+\bar{\mathbf{a}}=(a_0, a_1)+(\bar{a}_0, -a_1)=(a_0+\bar{a}_0, 0),$$

т.е. сумма сопряженных чисел является одномерным числом.

4.
$$\overline{\mathbf{a}+\mathbf{b}}=(\overline{a_0+b_0}, -(a_1+b_1))=(\bar{a}_0, -a_1)+(\bar{b}_0, -b_1)=\bar{\mathbf{a}}+\bar{\mathbf{b}}.$$

II. Свойства действий.

1. Ассоциативность сложения:

$$(a+b)+c=((a_0, a_1)+(b_0, b_1))+(c_0, c_1)=((a_0+b_0)+c_0, (a_1+b_1)+c_1),$$

$$a+(b+c)=(a_0, a_1)+((b_0, b_1)+(c_0, c_1))=(a_0+(b_0+c_0), a_1+(b_1+c_1)).$$

В силу ассоциативности сложения двумерных чисел $(a+b)+c=a+(b+c)$.

2. Коммутативность сложения:

$$a+b=(a_0, a_1)+(b_0, b_1)=(a_0+b_0, a_1+b_1),$$

$$b+a=(b_0, b_1)+(a_0, a_1)=(b_0+a_0, b_1+a_1).$$

В силу коммутативности сложения двумерных чисел $a+b=b+a$.

3. Наличие нуля:

$$a+0=(a_0, a_1)+(0, 0)=(a_0+0, a_1+0)=(a_0, a_1),$$

т.е. $a+0=a$, так что пара $(0, 0)$ отождествляется с одномерным числом 0 .

4. Наличие противоположного числа:

$$a+(-a)=(a_0, a_1)+(-a_0, -a_1)=(a_0-a_0, a_1-a_1)=(0, 0),$$

т.е. $a+(-a)=0$, так что пара $(-a_0, -a_1)$ отождествляется с числом $-a$.

5. Ассоциативность умножения:

$$(ab)c=((a_0, a_1)(b_0, b_1))(c_0, c_1)=(a_0b_0+\alpha b_1\bar{a}_1, \bar{a}_0b_1+b_0a_1)(c_0, c_1)=$$

$$=((a_0b_0+\alpha b_1\bar{a}_1)c_0+\alpha c_1(\bar{a}_0b_1+b_0a_1),$$

$$(a_0b_0+\alpha b_1\bar{a}_1)c_1+c_0(\bar{a}_0b_1+b_0a_1))=$$

$$=((a_0b_0+\alpha b_1\bar{a}_1)c_0+\alpha c_1(\bar{b}_1a_0+\bar{a}_1\bar{b}_0), (\bar{b}_0\bar{a}_0+\alpha$$

$$a_1\bar{b}_1)c_1+c_0(\bar{a}_0b_1+b_0a_1)),$$

$$a(bc)=(a_0, a_1)((b_0, b_1)(c_0, c_1))=(a_0, a_1)(b_0c_0+\alpha c_1\bar{b}_1, \bar{b}_0c_1+c_0b_1)=$$

$$=(a_0(b_0c_0+\alpha c_1\bar{b}_1)+\alpha(\bar{b}_0c_1+c_0b_1)\bar{a}_1, \bar{a}_0(\bar{b}_0c_1+c_0b_1)+$$

$$(b_0c_0+\alpha c_1\bar{b}_1)a_1).$$

В силу коммутативности умножения двумерных чисел $(ab)c=a(bc)$.

6. Некоммутативность умножения:

$$ab=(a_0, a_1)(b_0, b_1)=(a_0b_0+\alpha b_1\bar{a}_1, \bar{a}_0b_1+b_0a_1),$$

$$ba=(b_0, b_1)(a_0, a_1)=(b_0a_0+\alpha a_1\bar{b}_1, \bar{b}_0a_1+a_0b_1).$$

В силу несовпадения правых сторон равенств $ab \neq ba$.

7. Дистрибутивность:

$$(a+b)c=((a_0, a_1)+(b_0, b_1))(c_0, c_1)=(a_0+b_0, a_1+b_1)(c_0, c_1)=$$

$$=((a_0+b_0)c_0+\alpha c_1(\bar{a}_1+\bar{b}_1), (\bar{a}_0+\bar{b}_0)c_1+c_0(a_1+b_1))=$$

$$=((a_0+b_0)c_0+\alpha c_1(\bar{a}_1+\bar{b}_1), (\bar{a}_0+\bar{b}_0)c_1+c_0(a_1+b_1)),$$

$$ac+bc=(a_0c_0+\alpha c_1\bar{a}_1, \bar{a}_0c_1+c_0a_1)+(b_0c_0+\alpha c_1\bar{b}_1, \bar{b}_0c_1+c_0b_1)=$$

$$=((a_0+b_0)c_0+\alpha c_1(\bar{a}_1+\bar{b}_1), (\bar{a}_0+\bar{b}_0)c_1+c_0(a_1+b_1)),$$

$$(a+b)c=ac+bc.$$

т.е.

8. Наличие единицы:

$$a1=(a_0, a_1)(1, 0)=(a_01+\alpha 0\bar{a}_1, \bar{a}_00+1a_1)=(a_0, a_1)=a.$$

Итак, четырехмерные числа составляют некоммутативное, ассоциативное кольцо с единицей.

В координатной форме записи операция умножения двух четырехмерных чисел может быть представлена в виде:

$$\begin{array}{r|l} \mathbf{ab} = (a_0b_0 + \alpha b_1a_1 + \alpha b_2a_2 - \alpha^2 a_3b_3, & \\ a_0b_1 + b_0a_1 - \alpha b_2a_3 + \alpha a_2b_3, & \\ \hline a_0b_2 - \alpha b_3a_1 + b_0a_2 + \alpha a_3b_1, & \\ a_0b_3 - b_2a_1 + b_0a_3 + a_2b_1). & \end{array}$$

Восьмимерные числа

I. Определение восьмимерных чисел.

Восьмимерными числами $\mathbf{a}$ назовем упорядоченные пары $\mathbf{a} = (a_0, a_1)$ четырехмерных чисел a_i , для которых понятия равенства, суммы, произведения и отождествления некоторых пар с четырехмерными числами вводятся согласно следующим определениям (аксиомам):

1. Пары четырехмерных чисел $\mathbf{a} = (a_0, a_1)$ и $\mathbf{b} = (b_0, b_1)$ считаются равными в том и только в том случае, когда равны их соответствующие компоненты.

В символической записи: $\mathbf{a} = \mathbf{b}$

или
$$(a_0, a_1) = (b_0, b_1) = \begin{cases} a_0 = b_0, \\ a_1 = b_1. \end{cases}$$

2. Суммой пар $\mathbf{a} = (a_0, a_1)$ и $\mathbf{b} = (b_0, b_1)$ называется пара $\mathbf{a} + \mathbf{b} = (a_0 + b_0, a_1 + b_1)$, т.е.

$$\mathbf{a} + \mathbf{b} = (a_0, a_1) + (b_0, b_1) = (a_0 + b_0, a_1 + b_1).$$

3. Произведением пар $\mathbf{a} = (a_0, a_1)$ и $\mathbf{b} = (b_0, b_1)$ называется пара

$$\mathbf{ab} = (a_0b_0 + \alpha b_1\bar{a}_1, \bar{a}_0b_1 + b_0a_1),$$

т.е.

$$\mathbf{ab} = (a_0, a_1)(b_0, b_1) = (a_0b_0 + \alpha b_1\bar{a}_1, \bar{a}_0b_1 + b_0a_1),$$

где $\alpha = \pm 1$ или 0 , причем $\alpha = -1$ соответствует собственноккомплексному, $\alpha = 1$ – псевдокомплексному, а $\alpha = 0$ – дуальнокомплексному расширению четырехмерных чисел.

4. Пара $(a_0, 0)$ отождествляется с четырехмерным числом.

Пары $\mathbf{a} = (a_0, a_1)$ и $\bar{\mathbf{a}} = (\bar{a}_0, -a_1)$, отличающиеся сопряжением первой и знаком второй компоненты, называются сопряженными. Умножив сопряженные пары

$$\mathbf{a}\bar{\mathbf{a}} = (a_0, a_1)(\bar{a}_0, -a_1) = (a_0\bar{a}_0 - \alpha a_1\bar{a}_1, -\bar{a}_0a_1 + \bar{a}_0a_1) = (|a_0|^2 - \alpha|a_1|^2, 0),$$

т.е.

$$\mathbf{a}\bar{\mathbf{a}} = |a_0|^2 - \alpha|a_1|^2,$$

так что их произведение равно одномерному числу, которое равно нулю, если: $|a_0|^2 = |a_1|^2 = 0$ при $\alpha = -1$, $|a_0|^2 = |a_1|^2$ при $\alpha = 1$, $|a_0|^2 = 0$ при $\alpha = 0$.

Восьмимерные числа обладают следующими свойствами:

1.
$$\bar{\bar{\mathbf{a}}} = (\bar{\bar{a}}_0, -\bar{a}_1) = (\bar{a}_0, a_1) = (a_0, a_1) = \mathbf{a},$$

т.е.

$$\overline{\overline{a}} = a.$$

2.

$$\begin{aligned}\overline{ab} &= (\overline{a_0 b_0 + ab_1 \overline{a_1}}, -(\overline{a_0 b_1 + b_0 a_1})) = \\ &= (\overline{b_0} \overline{a_0} + \alpha a_1 \overline{b_1}, -(\overline{a_0 b_1 + b_0 a_1})), \\ \overline{b} \overline{a} &= (\overline{b_0}, -b_1) (\overline{a_0}, -a_1) = (\overline{b_0} \overline{a_0} + \alpha a_1 \overline{b_1}, -(b_0 a_1 + \overline{a_0 b_1})),\end{aligned}$$

т.е.

$$\overline{ab} = \overline{b} \overline{a}.$$

3.

$$a + \overline{a} = (a_0, a_1) + (\overline{a_0}, -a_1) = (a_0 + \overline{a_0}, 0),$$

т.е. сумма сопряженных чисел является одномерным числом.

4.

$$\overline{a + b} = (\overline{a_0 + b_0}, -(a_1 + b_1)) = (\overline{a_0}, -a_1) + (\overline{b_0}, -b_1) = \overline{a} + \overline{b}.$$

II. Свойства действий.

1. Ассоциативность сложения:

$$\begin{aligned}(a+b)+c &= ((a_0, a_1) + (b_0, b_1)) + (c_0, c_1) = ((a_0 + b_0) + c_0, (a_1 + b_1) + c_1), \\ a+(b+c) &= (a_0, a_1) + ((b_0, b_1) + (c_0, c_1)) = (a_0 + (b_0 + c_0), a_1 + (b_1 + c_1)).\end{aligned}$$

В силу ассоциативности сложения четырехмерных чисел $(a+b)+c=a+(b+c)$.

2. Коммутативность сложения:

$$\begin{aligned}a+b &= (a_0, a_1) + (b_0, b_1) = (a_0 + b_0, a_1 + b_1), \\ b+a &= (b_0, b_1) + (a_0, a_1) = (b_0 + a_0, b_1 + a_1).\end{aligned}$$

В силу коммутативности сложения четырехмерных чисел $a+b=b+a$.

3. Наличие нуля:

$$a+0 = (a_0, a_1) + (0, 0) = (a_0 + 0, a_1 + 0) = (a_0, a_1),$$

т.е. $a+0=a$, так что пара $(0, 0)$ отождествляется с одномерным числом 0.

4. Наличие противоположного числа:

$$a+(-a) = (a_0, a_1) + (-a_0, -a_1) = (a_0 - a_0, a_1 - a_1) = (0, 0),$$

т.е. $a+(-a)=0$, так что пара $(-a_0, -a_1)$ отождествляется с числом $-a$.

5. Альтернативность умножения:

$$\begin{aligned}(ab)b &= ((a_0, a_1)(b_0, b_1))(b_0, b_1) = (a_0 b_0 + \alpha b_1 \overline{a_1}, \overline{a_0} b_1 + b_0 a_1)(b_0, b_1) = \\ &= ((a_0 b_0 + \alpha b_1 \overline{a_1})b_0 + \alpha b_1 (\overline{a_0} b_1 + b_0 a_1), (a_0 b_0 + \alpha b_1 \overline{a_1})b_1 + b_0 (\overline{a_0} b_1 + b_0 a_1)) = \\ &= ((a_0 b_0 + \alpha b_1 \overline{a_1})b_0 + \alpha b_1 (\overline{b_1} a_0 + \overline{a_1} \overline{b_0}), (\overline{b_0} \overline{a_0} + \alpha a_1 \overline{b_1})b_1 + b_0 (\overline{a_0} b_1 + b_0 a_1)), \\ a(bb) &= (a_0, a_1)((b_0, b_1)(b_0, b_1)) = (a_0, a_1)(b_0 b_0 + \alpha b_1 \overline{b_1}, \overline{b_0} b_1 + b_0 b_1) = \\ &= (a_0 (b_0 b_0 + \alpha b_1 \overline{b_1}) + \alpha (\overline{b_0} b_1 + b_0 b_1) \overline{a_1}, \overline{a_0} (\overline{b_0} b_1 + b_0 b_1) + (b_0 b_0 + \alpha b_1 \overline{b_1}) a_1).\end{aligned}$$

В силу равенств $b\overline{b}$ и $b+\overline{b}$ одномерным числам $(ab)b=a(bb)$.

6. Некоммутативность умножения:

$$\begin{aligned}ab &= (a_0, a_1)(b_0, b_1) = (a_0 b_0 + \alpha b_1 \overline{a_1}, \overline{a_0} b_1 + b_0 a_1), \\ ba &= (b_0, b_1)(a_0, a_1) = (b_0 a_0 + \alpha a_1 \overline{b_1}, \overline{b_0} a_1 + a_0 b_1).\end{aligned}$$

В силу несовпадения правых сторон равенств $ab \neq ba$.

7. Дистрибутивность:

$$\begin{aligned}
 (a+b)c &= ((a_0, a_1) + (b_0, b_1))(c_0, c_1) = (a_0+b_0, a_1+b_1)(c_0, c_1) = \\
 &= ((a_0+b_0)c_0 + \alpha c_1(\bar{a}_1 + \bar{b}_1), (a_0+b_0)c_1 + c_0(a_1+b_1)) = \\
 &= ((a_0+b_0)c_0 + \alpha c_1(\bar{a}_1 + \bar{b}_1), (\bar{a}_0 + \bar{b}_0)c_1 + c_0(a_1+b_1)), \\
 ac+bc &= (a_0c_0 + \alpha c_1\bar{a}_1, \bar{a}_0c_1 + c_0a_1) + (b_0c_0 + \alpha c_1\bar{b}_1, \bar{b}_0c_1 + c_0b_1) = \\
 &= ((a_0+b_0)c_0 + \alpha c_1(\bar{a}_1 + \bar{b}_1), (\bar{a}_0 + \bar{b}_0)c_1 + c_0(a_1+b_1)), \\
 \text{т.е.} \quad (a+b)c &= ac+bc.
 \end{aligned}$$

8. Наличие единицы:

$$aI = (a_0, a_1)(1, 0) = (a_0I + \alpha 0\bar{a}_1, \bar{a}_00 + 1a_1) = (a_0, a_1) = a.$$

Итак, восьмимерные числа составляют некоммутативное, альтернативное кольцо с единицей.

В координатной форме записи операция умножения двух восьмимерных гиперкомплексных чисел может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned}
 ab &= (a_0b_0 + \alpha b_1a_1 + \alpha b_2a_2 - \alpha^2 a_3b_3 + \alpha b_4a_4 - \alpha^2 a_5b_5 - \alpha^2 a_6b_6 + \alpha^3 a_7b_7, \\
 &\quad a_0b_1 + b_0a_1 - \alpha b_2a_3 + \alpha a_2b_3 - \alpha b_4a_5 + \alpha a_4b_5 + \alpha^2 a_6b_7 - \alpha^2 b_6a_7, \\
 &\quad a_0b_2 - \alpha b_3a_1 + b_0a_2 + \alpha a_3b_1 - \alpha b_4a_6 + \alpha^2 a_7b_5 + \alpha a_4b_6 - \alpha^2 b_7a_5, \\
 &\quad a_0b_3 - b_2a_1 + b_0a_3 + a_2b_1 - \alpha b_4a_7 + \alpha a_6b_5 + \alpha a_4b_7 - \alpha b_6a_5, \\
 &\quad a_0b_4 - \alpha b_5a_1 - \alpha b_6a_2 + \alpha^2 a_3b_7 + b_0a_4 + \alpha a_5b_1 + \alpha a_6b_2 - \alpha^2 b_3a_7, \\
 &\quad a_0b_5 - b_4a_1 + \alpha b_6a_3 - \alpha a_2b_7 + b_0a_5 + a_4b_1 - \alpha a_6b_3 + \alpha b_2a_7, \\
 &\quad a_0b_6 + \alpha b_7a_1 - b_4a_2 - \alpha a_3b_5 + b_0a_6 - \alpha a_7b_1 + a_4b_2 + \alpha b_3a_5, \\
 &\quad a_0b_7 + b_6a_1 - b_4a_3 - a_2b_5 + b_0a_7 - a_6b_1 + a_4b_3 + b_2a_5).
 \end{aligned}$$

Особенностью многомерных чисел является, в частности, то, что произведение двух чисел с одномерными значениями $a_0=b_0=0$ дает возможность получать скалярное и векторное произведения двух многомерных векторов:

$$ab = -(ab) + [ab],$$

где

$$(ab) = -(\alpha a_1b_1 + \alpha a_2b_2 - \alpha^2 b_3a_3 + \alpha a_4b_4 - \alpha^2 a_5b_5 - \alpha^2 a_6b_6 + \alpha^3 a_7b_7)$$

и

$$\begin{aligned}
 [ab] &= (\alpha(a_2b_3 - a_3b_2) + \alpha(a_4b_5 - a_5b_4) - \alpha^2(a_7b_6 - a_6b_7), \\
 &\quad (\alpha(a_4b_6 - a_6b_4) - \alpha^2(a_5b_7 - a_7b_5) + \alpha(a_3b_1 - a_1b_3), \\
 &\quad (\alpha(a_6b_5 - a_5b_6) - (a_1b_2 - a_2b_1) + \alpha(a_4b_7 - a_7b_4), \\
 &\quad (\alpha(a_5b_1 - a_1b_5) - \alpha^2(a_7b_3 - a_3b_7) + \alpha(a_6b_2 - a_2b_6), \\
 &\quad (\alpha(a_7b_2 - a_2b_7) + \alpha(a_3b_6 - a_6b_3) - (a_1b_4 - a_4b_1), \\
 &\quad (\alpha(a_1b_7 - a_7b_1) - (a_2b_4 - a_4b_2) + \alpha(a_5b_3 - a_3b_5), \\
 &\quad (-(a_3b_4 - a_4b_3) - (a_6b_1 - a_1b_6) - (a_2b_5 - a_5b_2))
 \end{aligned}$$

для семимерных векторных алгебр;

$$(ab) = -(\alpha a_1b_1 + \alpha a_2b_2 - \alpha^2 b_3a_3)$$

и

$$\begin{aligned}
 [ab] &= (\alpha(a_2b_3 - a_3b_2), \\
 &\quad \alpha(a_3b_1 - a_1b_3), \\
 &\quad -(a_1b_2 - a_2b_1))
 \end{aligned}$$

для трехмерных векторных алгебр;

$$(ab) = -\alpha a_1b_1$$

и

$$[ab] = 0$$

для одномерных векторных алгебр.

В рассмотренных алгебрах все операции и результаты операций сформулированы в рамках целочисленных значений величин. Скалярное и векторное произведения двух векторов, а вслед за этим все операции над ними (например, смешанное и двойное векторное произведения) также целочисленны, что может представлять интерес для ряда разделов физики.

Библиографический список

1. Коротков, А.В. Теоретико-философские аспекты трехмерного и семи-мерного пространства [Текст] / А.В. Коротков, В.С. Чураков. – Новочеркасск : Набла, 2007. – 194 с.
2. Фаддеев, Д.К. Лекции по алгебре [Текст] / Д.К. Фаддеев. – М. : Наука, 1984. – 416 с.

УДК 519.6

Коротков А.В.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ С ТРЕМЯ ПЕРЕМЕННЫМИ В ЦЕЛЫХ ЧИСЛАХ

Общим направлением задач алгебраической геометрии является выяснение числа решений полиномиального уравнения в рациональных числах. Это, прежде всего, так называемая задача о конгруэнтных числах: т.е. выяснение того, какие рациональные числа могут быть площадями прямоугольных треугольников с рациональными длинами сторон.

Ответ таков: m – конгруэнтное число тогда и только тогда, когда число рациональных решений уравнения

$$S_2 = t^2 = m^3 - p^2 m$$

бесконечно. Это уравнение относится к классу эллиптических кривых, заданных одним из уравнений Вейерштрасса

$$t^2 = m^3 + am + b.$$

Такие уравнения сейчас находят применение в *криптологии* (*криптографии и криптоанализе*).

Вместе с тем, не менее важным направлением задач алгебраической геометрии является выяснение числа решений полиномиального уравнения в целых числах, т.е. выяснение того, какие целые числа могут быть площадями прямоугольных треугольников с целыми длинами сторон. Для выяснения этого вопроса необходимо найти способ определения целочисленных сторон прямоугольных треугольников.

Из [1] известно, что

$$x_2 = m^2 - n^2, y_2 = 2(mn)^1, z_2 = m^2 + n^2,$$

где m, n – взаимно простые числа, а x_2, y_2, z_2 – соответственно катеты и гипотенуза прямоугольного треугольника.

В этом случае на множестве натуральных чисел справедливо тождество:

$$(m^2 - n^2)^2 + (2(mn))^2 = (m^2 + n^2)^2,$$

т.е.

$$x_2^2 + y_2^2 = z_2^2,$$

где

$$y_2 = 2(mn),$$

что соответствует теореме Пифагора. Это тождество строго фиксирует возможные значения величин m и n , а вслед за ними также значения x_2 , y_2 , z_2 в целых числах (табл. 1). Несложно показать, что величины m и n определяются взаимно простыми числами разной четности, причем удастся классифицировать тройки пифагоровых чисел по значению модуля разности катетов прямоугольных треугольников [2].

Необходимо отметить удивительную закономерность построения рядов пифагоровых троек в каждом из классов, а именно:

$$z_{2k+1} = 6z_{2k} - z_{2k-1},$$

где z_{2k+1} и z_{2k-1} соответственно гипотенузы следующего и предыдущего z_{2k} прямоугольных треугольников в столбце пифагоровых троек с одинаковым значением модуля разности катетов прямоугольных треугольников.

Естественно, что каждому прямоугольному треугольнику с целочисленными значениями сторон x_2 , y_2 , z_2 соответствуют определенные целочисленные значения m и n . Поскольку удастся классифицировать прямоугольные треугольники по величине модуля разности между длинами катетов, то этому способу классификации соответствует определенный способ классификации значений m и n .

Поскольку ряды пифагоровых троек связаны строгими рекуррентными соотношениями, то аналогичными соотношениями должны быть связаны также ряды определяющих их величин m и n . Записывая m как m_{k+1} , а n как m_k , имеем рекуррентное соотношение

$$m_{k+1} = 2m_k + m_{k-1},$$

не менее удивительное, чем предыдущее и определяющее ряды пифагоровых троек с определенным модулем разности между длинами катетов, причем

$$(m_{k+1}^2 - m_k^2)^2 + (2(m_{k+1}m_k))^2 = (m_{k+1}^2 + m_k^2)^2.$$

Необходимо отметить, что размеры прямоугольных треугольников в каждом из рядов интенсивно нарастают, причем они определяются взаимно простыми числами, среди которых часто встречаются простые, так что эти ряды являются генераторами взаимно простых и простых чисел. Это представляет практический интерес для задач криптографии.

Таблица 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2·1 ¹ 0 2												
2	2·2 ¹ 3 5	2·4 ¹ 0 8											
3	2·3 ¹ 8 10	2·6 ¹ 5 13	2·9 ¹ 0 18										
4	2·4 ¹ 15 17	2·8 ¹ 12 20	2·12 ¹ 7 25	2·16 ¹ 0 32									
5	2·5 ¹ 24 26	2·10 ¹ 21 29	2·15 ¹ 16 34	2·20 ¹ 9 41	2·25 ¹ 0 50								
6	2·6 ¹ 35 37	2·12 ¹ 32 40	2·18 ¹ 27 45	2·24 ¹ 20 52	2·30 ¹ 11 61	2·36 ¹ 0 72							
7	2·7 ¹ 48 50	2·14 ¹ 45 53	2·21 ¹ 40 58	2·28 ¹ 33 65	2·35 ¹ 24 74	2·42 ¹ 13 85	2·49 ¹ 0 98						
8	2·8 ¹ 63 65	2·16 ¹ 60 68	2·24 ¹ 55 73	2·32 ¹ 48 80	2·40 ¹ 39 89	2·48 ¹ 28 100	2·56 ¹ 15 113	2·64 ¹ 0 128					
9	2·9 ¹ 80 82	2·18 ¹ 77 85	2·27 ¹ 72 90	2·36 ¹ 65 97	2·45 ¹ 56 106	2·54 ¹ 45 117	2·63 ¹ 32 130	2·72 ¹ 17 145	2·81 ¹ 0 162				
10	2·10 ¹ 99 101	2·20 ¹ 96 104	2·30 ¹ 91 109	2·40 ¹ 84 116	2·50 ¹ 75 125	2·60 ¹ 64 136	2·70 ¹ 51 149	2·80 ¹ 36 164	2·90 ¹ 19 181	2·100 ¹ 0 200			
11	2·11 ¹ 120 122	2·22 ¹ 117 125	2·33 ¹ 112 130	2·44 ¹ 105 137	2·55 ¹ 96 146	2·66 ¹ 85 157	2·77 ¹ 72 170	2·88 ¹ 57 185	2·99 ¹ 40 202	2·110 ¹ 21 221	2·121 ¹ 0 242		
12	2·12 ¹ 143 145	2·24 ¹ 140 148	2·36 ¹ 135 153	2·48 ¹ 128 160	2·60 ¹ 119 169	2·72 ¹ 108 180	2·84 ¹ 95 193	2·96 ¹ 80 208	2·108 ¹ 63 225	2·120 ¹ 44 244	2·132 ¹ 23 265	2·144 ¹ 0 288	
13	2·13 ¹ 168 170	2·26 ¹ 165 173	2·39 ¹ 160 178	2·52 ¹ 153 185	2·65 ¹ 144 194	2·78 ¹ 133 205	2·91 ¹ 120 218	2·104 ¹ 105 233	2·117 ¹ 88 250	2·130 ¹ 69 269	2·143 ¹ 48 290	2·156 ¹ 25 313	2·169 ¹ 0 338
14	2·14 ¹ 195 197	2·28 ¹ 192 200	2·42 ¹ 187 205	2·56 ¹ 180 212	2·70 ¹ 171 221	2·84 ¹ 160 232	2·98 ¹ 147 245	2·112 ¹ 132 260	2·126 ¹ 115 277	2·140 ¹ 96 296	2·154 ¹ 75 317	2·168 ¹ 52 340	2·182 ¹ 27 365
15	2·15 ¹ 224 226	2·30 ¹ 221 229	2·45 ¹ 216 234	2·60 ¹ 209 241	2·75 ¹ 200 250	2·90 ¹ 18926 1	2·105 ¹ 176 274	2·120 ¹ 161 289	2·135 ¹ 144 306	2·150 ¹ 125 325	2·165 ¹ 104 346	2·180 ¹ 81 369	2·195 ¹ 56 394
16	2·16 ¹ 255 257	2·32 ¹ 252 260	2·48 ¹ 247 265	2·64 ¹ 240 272	2·80 ¹ 231 281	2·96 ¹ 220 292	2·112 ¹ 207 305	2·128 ¹ 192 320	2·144 ¹ 175 337	2·160 ¹ 156 356	2·176 ¹ 135 377	2·192 ¹ 112 400	2·208 ¹ 87 425

Площадь прямоугольного треугольника

$$S_2 = x_2 y_2 / 2 = (m^2 - n^2)(mn)^1 = nm^3 - n^3 m = (m_{k+1}^2 - m_k^2) (m_{k+1} m_k)^1 = S_{2k},$$

так что это уравнение относится к классу эллиптических уравнений и является одним из уравнений Вейерштрасса. Очевидно, число целых решений этого уравнения бесконечно. Значения площадей прямоугольных треугольников однозначно определены величинами m и n и определяются рядами значений заданных разностью между длинами катетов.

Таким образом, получен ответ на поставленный вопрос о решении полиномиальных уравнений второй степени с двумя переменными.

Вместе с тем, определенный интерес представляет выяснение числа решений полиномиального уравнения с большим числом переменных (большим двух) в целых числах, в частности, равное трем. Такое уравнение в общем случае может быть записано в виде

$$x_2^2 + (y_2^2 + y_3^2) = z_3^2.$$

Это уравнение отвечает метрике трехмерного собственн-евклидова пространства.

Решение полиномиальных уравнений второй степени с тремя переменными можно получить исходя из совпадающих значений второй и третьей строк таблицы 1. Так, например, число 25 встречается в третьей строке со значением $m=4$ и $n=3$ и во второй строке со значением $k=12$ и $t=13$. Таким образом, выполняется равенство $4^2 + 3^2 = 25 = 13^2 - 12^2$, что равносильно равенству $3^2 + 4^2 + 12^2 = 13^2$, то есть $x_2^2 + y_2^2 + y_3^2 = z_3^2$. Число решений такого уравнения, очевидно, бесконечно. Их удобно представлять в виде таблицы 2. Фрагмент этой таблицы представлен ниже:

$m, n, k, t = 3, 4, 12, 13$	$m^2 + n^2 = 25$
	$k^2 + m^2 = 153$
$t^2 = 169$	$n^2 + k^2 = 160$

Очевидно, что сумма строк правого столбца равняется $2t^2$. Действительно,

$$\begin{aligned} (m^2 - n^2)^2 + (2(mn))^2 &= (m^2 + n^2)^2, \\ (n^2 - k^2)^2 + (2(nk))^2 &= (n^2 + k^2)^2, \\ (k^2 - m^2)^2 + (2(km))^2 &= (k^2 + m^2)^2, \end{aligned}$$

так что

$$\begin{aligned} 2t^2 &= ((m^2 - n^2)^2 + (2(mn))^2)^{1/2} + ((n^2 - k^2)^2 + (2(nk))^2)^{1/2} + ((k^2 - m^2)^2 + (2(km))^2)^{1/2} = \\ &= 2(m^2 + n^2 + k^2) \end{aligned}$$

и

$$t^2 = m^2 + n^2 + k^2.$$

Отметим, что среди чисел третьих строк таблицы 1 встречаются квадраты чисел в соответствии с теоремой Ферма.

Таблица 2

1,2,2,3	5	4,5,20,21	41	6,14,27,31	232	5,8,44,45	89
	5		416		765		1961
9	8	441	425	961	925	2025	2000
2,3,6,7	13	4,13,16,21	185	6,21,22,31	477	16,20,37,45	656
	40		272		520		1625
49	45	441	425	961	925	2025	1769
1,4,8,9	17	8,11,16,21	185	14,18,21,31	520	11,18,42,47	445
	65		320		637		1885
81	80	441	377	961	765	2209	2088
2,6,9,11	40	3,14,18,23	205	7,16,28,33	305	4,9,48,49	97
	85		333		833		2320
121	117	529	520	1089	1040	2401	2385
6,6,7,11	72	6,13,18,23	205	8,20,25,33	464	1,10,50,51	101
	85		360		689		2501
121	85	529	493	1089	1025	2601	2600
3,4,12,13	25	9,12,20,25	225	15,18,26,35	549	14,17,46,51	485
	153		481		901		2312
169	160	625	544	1225	1000	2601	2405
2,5,14,15	29	12,15,16,25	369	3,8,36,37	73	12,19,48,53	505
	200		400		1305		2448
225	221	625	481	1369	1360	2809	2665
2,10,11,15	104	2,7,26,27	53	10,14,35,39	296	3,10,54,55	109
	125		680		1325		2925
225	221	729	725	1521	1421	2916	3016
1,12,12,17	145	7,14,22,27	245	13,14,34,39	365	10,18,51,55	424
	145		533		1325		2701
289	288	729	680	1521	1352	3025	2925
8,9,12,17	145	10,10,23,27	200	4,24,33,41	592	7,8,56,57	113
	208		629		1105		3185
289	225	729	629	1681	1665	3249	3200
1,6,18,19	37	11,12,24,29	265	9,24,32,41	657	16,17,52,57	545
	325		697		1105		2929
361	360	841	720	1681	1600	3249	2993
6,10,15,19	136	5,6,30,31	61	2,18,39,43	328	9,22,54,59	565
	261		925		1525		2997
361	325	961	936	1849	1845	3481	3400

Укажем на некоторые особенности решений уравнений второй степени с тремя переменными в целых числах. Во-первых, из таблицы 1 следует, что все нечетные числа представимы в виде разности квадратов двух целых чисел

$$c = a \cdot b = ((b+a)/2)^2 - ((b-a)/2)^2.$$

Числа класса 1 сравнений по mod 4 представимы также в виде суммы квадратов двух целых чисел. Числа класса 1 сравнений по mod 4 представимы кроме того в виде произведения двух целых чисел класса 1 сравнений по mod 4. В случае равенства одного из них единице, второе является простым числом.

Из таблицы 2 следует, что решения уравнений второй степени с тремя переменными в целых числах вида

$$m^2 + n^2 + k^2 = t^2$$

образуют для t класс нечетных чисел, включающий все нечетные числа кроме 1 и 5 (вырожденный случай). Это показано вплоть до $t=59$, что позволяет выдвинуть гипотезу, аналогичную гипотезе Гольдбаха для четных чисел, то есть предположить, что квадрат каждого нечетного числа представим в виде суммы квадратов трех взаимно простых чисел с t . Из этой же таблицы следует, что каждое решение содержит два четных и два нечетных числа, причем четные числа являются числами одного и того же класса вычетов по mod 4.

Более того, удастся связать числа m , n , k и t друг с другом с помощью формулы

$$(m^2 + n^2) + (((m^2 + n^2)/(t-k)) - (t-k))/2)^2 = (((m^2 + n^2)/(t-k)) + (t-k))/2)^2.$$

Эта формула для распространенного частного случая $t-k=1$ дает соотношение

$$(m^2 + n^2) + (((m^2 + n^2) - 1)/2)^2 = (((m^2 + n^2) + 1)/2)^2,$$

используемое в [2].

Отметим также уникальную особенность решений полиномиальных уравнений второй степени с тремя переменными, заключающуюся в том, что как и в случае двух переменных, четверки чисел решений уравнения образуют периодическую зависимость между собой, определяемую рекуррентным соотношением

$$z_{2k+1} = 6z_{2k} - z_{2k-1},$$

где в качестве z_{2k+1} , z_{2k} , z_{2k-1} выступают три последовательных значения величин n , k и t при одном и том же значении величины m . Некоторые из последовательностей решений представлены в таблице 3.

Таким образом, решения полиномиальных уравнений второй степени с тремя переменными образуют бесконечные последовательности четверок целых чисел, так что число решений оказывается также бесконечным.

Таблица 3

1,2,2,3	5	2,3,6,7	13	1,4,8,9	17
	5		40		65
9	8	49	45	81	80
1,12,12,17	145	2,7,26,27	53	1,6,18,19	37
	145		680		325
289	388	729	725	361	360
1,70,70,99	4901	2,39,150,155	1525	1,32,100,105	1025
	4901		22504		10001
9801	9800	24025	24021	11025	11024
1,408,408,577	166465	2,227,874,903	51533	1,186,582,611	34597
	166465		763880		338725
322929	322928	815409	815405	373321	373320
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
2,6,9,11	40	3,4,12,13	25	2,5,14,15	29
	85		153		200
121	117	169	160	225	221
2,26,29,39	680	3,14,18,23	205	2,21,42,47	445
	845		333		1768
1521	1517	529	520	2209	2205
2,150,165,223	22504	3,80,96,125	6409	2,121,238,267	14645
	27229		9225		56648
49729	49725	15625	15616	71289	71285
2,874,961,1299	763880	3,466.558,727	217165	2,705,1386,1555	497029
	923525		311373		1921000
1687401	1687397	528529	528520	2418025	2418021
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...

Продолжение табл. 3

...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
2,1830,4785,5123	3348904	3,1900,10596,10765	3610009	2,1661,8078,8247	2758925
	22896229		112275225		65254088
26245129	26245125	115885225	115885216	68013009	68013005
2,314,821,879	98600	3,326,1818,1847	106285	2,285,1386,1415	81229
	674045		3305133		1921000
772641	772637	3411409	3411400	2002225	2002221
2,54,141,151	2920	3,56,312,317	3145	2,49,238,243	2405
	19885		97353		56648
22801	22797	100489	100480	59049	59045
2,10,25,27	104	3,10,54,55	109	2,9,42,43	1768
	629		2925		1773
729	725	3025	3016	1849	1845
2,6,9,11	40	3,4,12,13	25	2,5,14,15	29
	85		153		200
121	117	169	160	225	221
2,26,29,39	680	3,14,18,23	205	2,21,42,47	445
	845		333		1768
1521	1517	529	520	2209	2205
2,150,165,223	22504	3,80,96,125	6409	2,121,238,267	14645
	27229		9225		56648
49729	49725	15625	15616	71289	71285
2,874,961,1299	763880	3,466.558,727	217165	2,705,1386,1555	497029
	923525		311373		1921000
1687401	1687397	528529	528520	2418025	2418021
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...

Отметим также интересную особенность классификации пифагоровых четверок. Во-первых, пифагоровы четверки создают ряды бесконечной протяженности в обоих направлениях. Во-вторых, каждой диагонали параллелепипеда соответствует два ряда пифагоровых четверок. Так, например, число 13 встречается в последовательностях ..., 425, 73, 13, 5, 17, 97, ... и ..., 305, 53, 13, 25, 137, 797, ..., так что имеет место пересечение двух рассмотренных последовательностей в значении 13. Это относится ко всем остальным числам. В результате можно говорить не о рядах бесконечной протяженности в обоих направлениях, а о плоскостях формируемых перпендикулярно расположенными числовыми последовательностями с пересечением в данном числе. Таким образом, формируются уже не линейки чисел, а плоскости числовых последовательностей, классифицируемых по определенному признаку. Фрагменты таких плоскостей чисел представлены в таблице 4.

Таблица 4

	-12	-2	0	2	12
			...		
29	2,-238,49,243	2,-42,9,43	2,-14,5,15	2,-42,21,47	2,-238,121,267
5	2,-34,-19,39	2,-6,-3,7	2,-2,1,3	2,-6,9,11	2,-34,53,63
1	2,34,-19,39	2,6,-3,7	2,2,1,3	2,6,9,11	2,34,53,63
1	2,238,49,243	2,42,9,43	2,14,5,15	2,42,21,47	2,238,121,267
5	2,1394,457,1467	2,246,81,259	2,82,29,87	2,246,93,263	2,1394,529,1491
			...		
	-228	-38	0	38	228
			...		
97	2,4378,4019,5943	2,774,711,1051	2,266,247,363	2,822,771,1127	2,4666,4379,6399
17	2,638,551,843	2,114,99,151	2,46,43,63	2,162,159,227	2,926,911,1299
5	2,26,7,27	2,6,3,7	2,10,11,15	2,54,63,83	2,314,367,483
13	2,94,211,231	2,18,39,43	2,14,23,27	2,66,99,119	2,382,571,687
73	2,1114,1979,2271	2,198,351,403	2,74,127,147	2,246,411,479	2,1402,2339,2727
			...		
	-636	-106	0	106	636
			...		
305	2,8714,10565,13695	2,1542,1869,2423	2,538,649,843	2,1686,2025,2635	2,9578,11501,14967
53	2,1166,1453,1863	2,210,261,335	2,94,113,147	2,354,417,547	2,2030,2389,3135
13	2,10,25,27	2,6,9,11	2,26,29,39	2,150,165,223	2,874,961,1299
25	2,622,569,843	2,114,105,155	2,62,61,87	2,258,261,367	2,1486,1505,2115
137	2,5450,5261,7575	2,966,933,1343	2,346,337,483	2,1110,1089,1555	2,6314,6197,8847
			...		
	-48	-8	0	8	48
			...		
29	1,338,746,819	1,60,132,145	1,22,46,51	1,72,144,161	1,410,818,915
5	1,32,100,105	1,6,18,19	1,4,8,9	1,18,30,35	1,104,172,201
1	1,-2,-2,3	1,0,0,1	1,2,2,3	1,12,12,17	1,70,70,99
1	1,100,32,105	1,18,6,19	1,8,4,9	1,30,18,35	1,172,104,201
5	1,746,338,819	1,132,60,145	1,46,22,51	1,144,72,161	1,818,410,915
			...		
	-336	-56	0	56	336
			...		
97	3,8010,5246,9575	3,1416,928,1693	3,486,322,583	3,1500,1004,1805	3,8514,5702,10247
17	3,1176,724,1381	3,210,130,247	3,84,56,101	3,294,206,359	3,1680,1180,2053
5	3,54,10,55	3,12,4,13	3,18,14,23	3,96,80,125	3,558,466,727
13	3,156,248,293	3,30,46,55	3,24,28,37	3,114,122,167	3,660,704,965
73	3,1890,2390,3047	3,336,424,541	3,126,154,199	3,420,500,653	3,2394,2846,3719
			...		

Необходимо помнить, что эти фрагменты представляют часть плоскости, которая может быть продлена до бесконечности во всех четырех направлениях. В горизонтальных направлениях действует рекуррентное соотношение

$$z_{k+1} = 6z_k - z_{k-1}$$

(при постоянном значении первой координаты), а в вертикальных направлениях это соотношение корректируется на величину числа, указанного в верхней строчке над данным рядом чисел.

Библиографический список

1. Начала Евклида, книги I – VI. – М. – Л. : Гос. изд. техн.-теор. лит., 1950.
2. Коротков, А.В. Теоретико-философские аспекты трехмерного и семи-мерного пространств [Текст] / А.В. Коротков, В.С. Чураков. – Новочеркасск : Набла, 2007. – 194 с.

УДК 519.6

Коротков А.В., Чураков В.С.

МНОГОЗНАЧНЫЕ АЛГЕБРЫ ЛОГИКИ, БУЛЕВЫ МНОГОМЕРНЫЕ АЛГЕБРЫ И ДИСКРЕТНЫЕ (МНОГОМЕРНЫЕ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫЕ) АЛГЕБРЫ

В статье рассматриваются различия между многозначными алгебрами логики, булевыми многомерными алгебрами и дискретными (многомерными целочисленными) алгебрами.

Основным недостатком булевой алгебры логики, получившей широкое распространение и применение – в том числе в вычислительной технике – с точки зрения идентификации и управления объектами, обладающими сознанием (интеллектом), является то, что данная логика одномерна, то есть описывает лишь действительные логические состояния и не учитывает иных, в том числе – мнимых, ввиду чего с XX в. начинают разрабатываться многомерные (например, воображаемая логика Н.А. Васильева [1] – и ее частичный анализ в монографии В.А. Смирнова [13]) и многозначные логики.

В работах А.А. Зиновьева [7] словосочетание «комплексная логика» встречается с 70-х гг. XX в., в частности, для обозначения связи лексики с формальным логическим аппаратом в рамках традиционной булевой (формальной/действительной) логики. Комплексная логика А.А. Зиновьева послужила прообразом для А.С. Ионова и Г.А. Петрова – авторов из НГУ

им. Ярослава Мудрого (они вкладывают в указанный термин принципиально иное содержание) [2]. Они занимались вопросами идентификации сложных технических систем, а начиная с середины 80-х гг. XX в. [3] приступили к разработке основ комплексной логики, названной по аналогии с комплексными числами и связывающей воедино действительные и мнимые части логических состояний объектов [4]. Ими была также сформулирована соответствующая комплексная интерпретация логических законов [4] и намечены подходы к описанию комплексной теории вероятностей для 4-значной комплексной логики [5]; введение в [6] понятий положительных, отрицательных и мнимых множеств позволило перейти к формированию основ алгебры 9-значной комплексной логики и ее применению к управлению системами с интеллектом. (В скобках следует отметить, что с т.з. системологии системы условно делятся на рефлексивные и нерефлексивные. Рефлексивные системы эффективны в стандартных ситуациях, на которые они заранее программируются, а нерефлексивные системы эффективны там, где нет однозначности действий, но допускается многозначность [14, с. 137].)

Из вышесказанного понятно, что работы в данном направлении ведутся, и они имеют непосредственное практическое применение.

Зададимся вопросом: в чем разница между многозначными алгебрами логики и булевыми многомерными алгебрами [8; 9]? Дело вот в чем. Дело в том, что многозначность и многомерность – это разные понятия. Булева алгебра имеет два состояния в каждой переменной – нуль и один, то есть два знака, два значения: нуль и один. То есть булева алгебра двузначна. Не булева алгебра также двузначна. Это – двузначная алгебра как класс, собственно алгебр, как кольцо вычетов по модулю два. Там тоже два состояния – нуль и один. Хотя она и не булева, поскольку закон сложения отличается от законов сложения в булевой алгебре. Трехзначные и четырехзначные логики соответственно также одномерные – и они имеют три либо четыре состояния.

Например, были в свое время (в 60-е и 70-е гг. XX в.) элементы, которые давали значение нуль, значение единица, либо значение минус единица. Это были элементы, которые реализовывали трехзначную логику, но не было разработано алгебры для этой логики, не было законов сложения, законов умножения, свойств этих законов, то есть свойств алгебр. Итак, речь идет в данном случае об одномерных двузначных, трехзначных и четырехзначных логиках.

Многомерные логики или алгебры булевы либо не булевы многомерные отличаются тем, что в данном случае имеет место параллельное действие логических систем одномерных. Например, две одномерные системы можно увязать в одну двухмерную систему. Это с одной стороны.

Точно так, три одномерные системы можно увязать в одну трехмерную систему, либо n -одномерных можно увязать в одну n -мерную алгебру. Число представляется не одним разрядом, а многими разрядами, n -разрядами, причем в каждом разряде действует соответственно значности логики число состояний, в каждом разряде нуль – один, например, в булевой алгебре, а число разрядов может быть n -мерным.

Вот в чем принципиальное отличие. Принципиально это точно так же, как многомерные векторные алгебры могут быть построены с системой действительных чисел. Но там числа имеют неопределенную значимость, то есть могут иметь и нуль, и один, и два, и три, и пять, и тысячу, и миллион, и миллиард значений числа, то есть числа не дискретизированны. Кроме того, числа не обязательно целые и не обязательно рациональные, но числа действительные – это отличает кардинально алгебру дискретную (целочисленную) от алгебры непрерывных значений. Алгебры вообще и векторные алгебры в частности связаны с использованием полей действительных чисел. То есть они рассматриваются над объектами непрерывной природы. Тем не менее, в физическом плане отмечена дискретность целого ряда величин, в частности, орбит движения (радиусов движения) электронов, т.е. радиусов электронных оболочек в атоме, молекулах и т.д. Это намекает на то, что целый ряд величин может быть дискретным. И стоит вопрос: а как ввести дискретность, интервал величин, изменение величин и т.д.?

В математическом плане это может быть обеспечено путем использования дискретных алгебр, то есть алгебр, которые используют не действительные поля, или поля вообще, а кольца, то есть не рассматривая вопрос, связанный с делением. Такими кольцами могут быть кольца целых чисел, либо кольца в сравнении по модулю. И те и другие кольца известны, широко используются, но в плане построения векторных алгебр не применялись (поэтому стоит ввести для их обозначения термин «дискретные (многомерные целочисленные) алгебры» [12]).

Если использовать эти кольца как объект для рассмотрения в векторных алгебрах, то очень многие величины векторных алгебр связаны с понятием сложения, вычитания и умножения величин, но не используют операцию деления величин. Очень многие величины строятся именно так. К ним относятся такие понятия, как: скалярное произведение двух векторов, скалярный квадрат вектора, векторное произведение двух векторов, а также все объекты, связанные с комбинацией скалярного и векторного произведения. В частности, квадрат векторного произведения двух векторов, смешанное произведение двух векторов, двойное векторное произведение двух векторов, целый ряд иных величин, причем это названы величины, относящиеся только к трехмерным векторным алгебрам.

Если же использовать семимерные векторные алгебры, то к этим величинам будет добавлен целый ряд других функций, таких как: векторное произведение трех, четырех, пяти, шести векторов, смешанное произведение четырех, семи векторов, целый ряд других величин и функций. Все эти величины над полями, над кольцами целых чисел либо кольцами чисел в сравнении по модулю, классов в сравнении по модулю, оказываются целочисленными, то есть дискретизированными, то есть мы имеем дело с построением дискретных векторных алгебр.

Надо отметить, что дискретизация накладывает некоторые отпечатки и на векторные алгебры, в частности, теория вращения должна быть существенно изменена, поскольку в нее входят не дискретизированные величины – косинуса и синуса – тригонометрического либо гиперболического. В таком варианте эти величины должны быть также дискретизированы, то есть должен применяться не непрерывный ряд значений, а другой дискретизированный ряд значений, в том числе тригонометрических и гиперболических функций.

Библиографический список

1. Васильев, Н.А. Воображаемая логика [Текст] / Н.А. Васильев. Избранные труды. – М. : Наука, 1980. – 264 с.
2. Ионов, А.С. Алгебра 9-значной комплексной логики и ее применение [Электронный ресурс] / А.С. Ионов, Г.А. Петров. – URL : psi-logic.shadanakar.org
3. Ионов, А.С. Комплексная логика для идентификации систем, учитывающих возможные ошибки [Текст] / А.С. Ионов. – 13 с. – Деп. в. ВИНТИ, от 16.09.88. № 7018-B88.
4. Ионов, А.С. Интерпретация логических законов комплексной логикой [Текст] / А.С. Ионов, Г.А. Петров // Вестник Новг. гос. ун-та. Сер. Технические науки. – 2001. – № 17.
5. Ионов, А.С. К построению основ теории вероятности комплексных логических событий [Текст] / А.С. Ионов, Г.А. Петров // Вестник Новг. гос. ун-та, Сер. Технические науки. – 2004. – № 26.
6. Ионов, А.С. Построение основ алгебры комплексной логики на базе расширения теории множеств [Текст] / А.С. Ионов // Вестник Новг. гос. ун-та. Сер. Математика и информатика. – 2002. – № 22 ; Ионов, А.С. Принципы построения гиперкомплексной логики [Текст] / А.С. Ионов, Г.А. Петров // Искусственный интеллект 2004 : сб. трудов Междунар. науч. конф. Таганрог-Донецк, т. 1, 2004 ; Ионов, А.С. Основы алгебры 9-значной комплексной логики [Текст] / А.С. Ионов, Г.А. Петров // Вестник Новг. гос. ун-та, Сер. Технические науки. – 2004. – № 28.
7. Зиновьев, А.А. Комплексная логика [Текст] / А.А. Зиновьев // Очерки комплексной логики. – М. : Наука, 1970 ; М. : Эдиториал УРСС, 2000.
8. Коротков, А.В. Многомерные булевы алгебры [Текст] / А.В. Коротков, В.С. Чураков // Теоретико-философские аспекты трехмерного и семимерного пространств (собственно евклидова и псевдоевклидова). – Новочеркасск : Набл ЮРГТУ (НПИ), 2007. – 194 с. – (с. 180–185).

9. Коротков, А.В. Многочисленные алгебры логики [Текст] / А.В. Коротков // Информационные системы и технологии. Теория и практика. – Шахты : Изд-во ЮРГУЭС, 2008. – С. 17–23.
10. Коротков, А.В. Не Булевы алгебры логики [Текст] / А.В. Коротков // Информационные системы и технологии. Теория и практика. – Шахты : Изд-во ЮРГУЭС, 2008. – С. 23–29.
11. Коротков, А.В. Многомерные целочисленные алгебры [Текст] / А.В. Коротков // Информационные системы и технологии. Теория и практика. – Шахты : ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2009. – С. .
12. Логико-философские труды В.А. Смирнова [Текст] / под ред. В.И. Ша- лака. – М. : Эдиториал УРССС, 2001. – 592 с.
13. Прангишвили, И.В. Системные законы и закономерности в электродинамике, природе и обществе [Текст] / И.В. Прангишвили, Ф.Ф. Пашенко, Б.П. Бусыгин. – М. : Наука, 2001. – 525 с.

УДК 531.7

Безуглов Д.А., Миронович Д.В.

**ОПТИМИЗАЦИЯ (МИНИМИЗАЦИЯ)
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ
СГЛАЖИВАЮЩЕГО КУБИЧЕСКОГО В-СПЛАЙНА
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ОЦЕНКИ НЕИЗВЕСТНОЙ
ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ**

Во многих научно-прикладных задачах цифровой обработки радиотехнических сигналов характерной является задача получения оценки плотности распределения случайной величины.

Однако процесс статистической обработки измерений сопряжен с рядом трудностей. Во-первых, отсутствует априорная информация об обрабатываемом процессе. При этом известные методы решения такой задачи являются достаточно сложными. Во-вторых, получение выборки всегда связано с ошибками и аномальными выбросами измеряемых величин. В-третьих, существующие методы обработки предполагают наличие большой выборки, в идеале стремящейся к бесконечности. В практических же задачах размер выборки часто ограничен возможностями исследуемой системы. А в тех случаях, когда такие ограничения отсутствуют, необходимость обработки больших массивов результатов измерений также не желательна, поскольку ведет к увеличению вычислительных затрат и снижению оперативности обработки информации.

Анализ существующих методов статистической обработки показывает, что в случае малой выборки построение эмпирической функции распределения случайной величины более обосновано, нежели плотности распределения этой случайной величины. Это объясняется тем, что функция распределения монотонно возрастает на всей области определения и поэтому менее критична к размерам выборки. Таким образом, при получении аналитического выражения для плотности распределения случайной величины логично воспользоваться известным соотношением, описывающим взаимосвязь функции распределения и плотности распределения случайной величины:

$$p(x) = \frac{dF(x)}{dx}.$$

Однако этот путь получения плотности распределения связан с невозможностью дифференцирования функции распределения частот – эмпирического аналога функции распределения, поскольку она имеет ступенчатый вид и, следовательно, в узлах разбиения вариационного ряда результатов измерений ее производная терпит разрыв. Для решения этой задачи по ряду причин целесообразно применить математический аппарат сглаживающих сплайнов. Таким образом, задачу получения эмпирической плотности распределения по малой выборке будем решать в следующей последовательности: по результатам измерений определим функцию накопления частот; полученную функцию сгладим нормализованным кубическим B -сплайном; продифференцировав этот сплайн в аналитическом виде, получим выражение для плотности распределения случайной величины.

Согласно методу [1] для расчета коэффициентов сглаживающего кубического B -сплайна необходимо решить алгебраическую систему $(n + 2)$ линейных уравнений, где n – количество измерений. При увеличении количества измерений размерность системы увеличивается, сильно возрастают трудности ее решения.

Целью данной статьи является минимизация вычислительных затрат расчета коэффициентов сглаживающего кубического B -сплайна при использовании метода оценки неизвестной плотности распределения случайной величины.

В соответствии с методом [1] при построении сглаживающего кубического B -сплайна для расчета коэффициентов получим систему из $N+2$ линейных уравнений, матричная форма которых имеет вид:

$$\frac{1}{6}(A \cdot B) = Z,$$

где

$$A = \begin{pmatrix} 1+12\rho & 4-18\rho & 1 & 6\rho & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4-18\rho & 17+48\rho & 8-36\rho & 1 & 6\rho & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 8-36\rho & 18+84\rho & 8-54\rho & 1 & 6\rho & 0 & 0 \\ 6\rho & 1 & 8-54\rho & 18+96\rho & 8-54\rho & 1 & 6\rho & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 6\rho & 1 & 8-54\rho & 18+96\rho & 8-54\rho & 1 & 6\rho \\ 0 & 0 & 6\rho & 1 & 8-54\rho & 18+84\rho & 8-36\rho & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 6\rho & 1 & 8-36\rho & 17+48\rho & 4-18\rho \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6\rho & 1 & 4-18\rho & 1+12\rho \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$B = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_{N-1} \\ b_N \\ b_{N+1} \end{pmatrix}, \quad Z = \begin{pmatrix} z_1 \\ 4z_1 + z_2 \\ z_1 + 4z_2 + z_3 \\ \vdots \\ z_{N-1} + 4z_N + z_{N+1} \\ z_{N-1} + 4z_N \\ z_N \end{pmatrix}.$$

Матрица коэффициентов системы (1) имеет семидиагональный вид и хорошо обусловлена.

Для сокращения вычислительных затрат применим для решения системы (1) итерационный метод Якоби [2, 4]. При этом решение с точностью ε , где $\varepsilon > 0$ – заданное число, запишется в следующем виде:

$$\begin{aligned} b_0^{n+1} &= -\left(\frac{4-18\rho}{1+12\rho} \cdot b_1^n + \frac{b_2^n}{1+12\rho} + \frac{6\rho}{1+12\rho} \cdot b_3^n\right) + \frac{z_1}{1+12\rho}; \\ b_1^{n+1} &= -\left(\frac{4-18\rho}{17+48\rho} \cdot b_0^n + \frac{8-36\rho}{17+48\rho} \cdot b_2^n + \frac{b_3^n}{17+48\rho} + \frac{6\rho}{17+48\rho} \cdot b_4^n\right) + \frac{4 \cdot z_1 + z_2}{17+48\rho}; \\ b_2^{n+1} &= -\left(\frac{b_0^n}{18+84\rho} + \frac{8-36\rho}{18+84\rho} \cdot b_1^n + \frac{8-54\rho}{18+84\rho} \cdot b_3^n + \frac{b_4^n}{18+84\rho} + \frac{6\rho}{18+84\rho} \cdot b_5^n\right) + \frac{z_1 + 4 \cdot z_2 + z_3}{18+84\rho}; \\ &\dots \\ b_i^{n+1} &= -\left(\frac{6\rho}{18+96\rho} \cdot b_{i-3}^n + \frac{b_{i-2}^n}{18+96\rho} + \frac{8-54\rho}{18+96\rho} \cdot b_{i-1}^n + \frac{8-54\rho}{18+96\rho} \cdot b_{i+1}^n + \frac{b_{i+2}^n}{18+96\rho} + \frac{6\rho}{18+96\rho} \cdot b_{i+3}^n\right) + \frac{z_{i-1} + 4 \cdot z_i + z_{i+1}}{18+96\rho}; \\ &\dots \end{aligned} \quad (2)$$

$$b_{N-1}^{n+1} = - \left(\frac{6\rho}{18+84\rho} \cdot b_{N-4}^n + \frac{b_{N-3}^n}{18+84\rho} + \frac{8-54\rho}{18+84\rho} \cdot b_{N-2}^n + \frac{8-36\rho}{18+84\rho} \cdot b_N^n + \frac{b_{N+1}^n}{18+84\rho} \right) + \frac{z_{N-2} + 4 \cdot z_{N-1} + z_N}{18+84\rho};$$

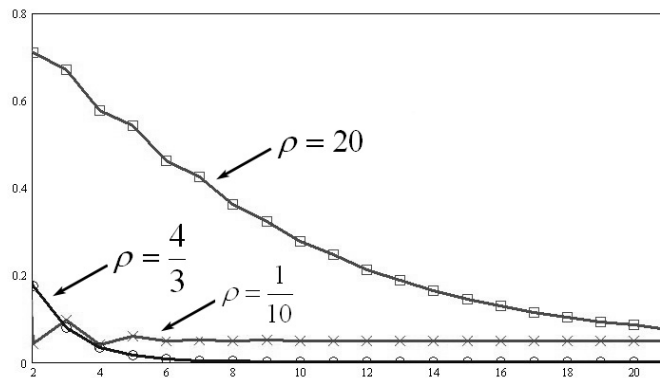
$$b_N^{n+1} = - \left(\frac{6\rho}{17+48\rho} \cdot b_{N-3}^n + \frac{b_{N-2}^n}{17+48\rho} + \frac{8-36\rho}{17+48\rho} \cdot b_{N-1}^n + \frac{4-18\rho}{17+48\rho} \cdot b_{N+1}^n \right) + \frac{z_{N-1} + 4 \cdot z_N}{17+48\rho};$$

$$b_{N+1}^{n+1} = - \left(\frac{6\rho}{1+12\rho} \cdot b_{N-2}^n + \frac{b_{N-1}^n}{1+12\rho} + \frac{4-18\rho}{1+12\rho} \cdot b_N^n \right) + \frac{z_N}{1+12\rho};$$

где $n = 0, 1, 2, \dots, n$ – номер итерации, $i = \overline{3, N-2}$, $N \geq 11$.

Окончание итераций определяется либо заданием максимального числа итераций $n_{\max}$, либо условием

$$\max_{1 \leq i \leq m} |b_i^{n+1} - b_i^n| < \varepsilon$$



Невязка при заданных коэффициентах ρ

На рисунке приведены результаты вычислительного эксперимента. Решалась система размерностью $M=20$. При этом предложенный метод позволяет существенно уменьшить объем вычислительных затрат и распараллелить вычислительный процесс, что важно при построении современных цифровых систем обработки сигналов. Это следует из того, что при решении системы (1) путем обращения матрицы A потребуется порядка $(N+2)^3 + (N+2)^2(N) \approx 2(N+2)^3$ операций. Как следует из рисунка, в силу диагонального вида, метод Якоби в нашем случае хорошо сходится уже после 6–10 итераций. Таким образом, решение в соответствии с (2) потребует $13mN$ операций, где m – число итераций. При $m=10$, $N>8$ выигрыш в вычислительных затратах составит $\frac{(N+2)^2}{65}$ раз. При этом граница гарантированной устойчивости метода Якоби определится в нашем случае как $0 < \rho \leq \frac{4}{3}$. При $\rho=0$ матрица A плохо обусловлена, система решений не имеет.

Выводы. Применение итерационного метода Якоби позволяет существенно сократить вычислительные затраты и распараллелить вычисления.

Библиографический список

1. Безуглов, Д.А. Обработка результатов измерений на базе аппроксимации плотности распределения сглаживающими кубическими B -сплайнами [Текст] / Д.А. Безуглов, П.М. Поморцев, А.В. Складов // Измерительная техника. – 2000. – № 9. – С. 32–36.
2. Безуглов, Д.А. Метод Якоби в задаче сплайн-аппроксимации плотности распределения [Текст] / Д.А. Безуглов, Д.В. Миронович, И.В. Решетникова // Цифровая обработка сигналов и ее применение : доклады 29–31 марта 2006 г. – М. : Инсвязьиздат, 2006. – Т. 1. – С. 89–93.
3. Завьялов, Ю.С. Методы сплайн-функций [Текст] / Ю.С. Завьялов, В.И. Квасов, В.А. Мирошниченко. – М. : Наука, 1980. – 352 с.
4. Самарский, А.А. Численные методы [Текст] : учеб. пособие для вузов / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М. : Наука, Гл. ред. физ-мат. лит., 1989. – 432 с.

РАЗДЕЛ 2

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.03

Бегляров В.В.

БИОНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

В статье отражено значение мягких вычислений в современной методологии программной инженерии. Проведен анализ наиболее популярных методов, входящих в являющихся компонентами мягких вычислений, а также указан наиболее эффективный способ применения его компонентов.

Введение. Основой развития технических систем, в том числе и информационных, являются новые гипотезы, концепции, теории, принципы, модели, алгоритмы и т.д. В настоящее время существует несколько теоретических платформ, и одна из них – это методология, называемая «Мягкие вычисления» (SC).

Термин «мягкие вычисления» введен Лофти Заде в 1994 г. Мягкие вычисления – это не какая-то отдельная методология. Скорее, это консорциум вычислительных методологий, которые коллективно обеспечивают основы для понимания, конструирования и развития интеллектуальных систем. В этом объединении главными компонентами SC являются нечеткая логика, нейровычисления, генетические вычисления и вероятностные вычисления. Позднее в этот конгломерат были включены рассуждения на базе свидетельств (evidential reasoning), сети доверия (belief networks), хаотические системы и разделы теории машинного обучения. По сравнению с традиционными жесткими вычислениями, мягкие вычисления более приспособлены для работы с неточными, неопределенными или частично истинными данными/знаниями. Составляющие мягкие вычисления методологии являются в большей степени синергетическими и взаимодополняющими, чем соперничающими. Благодаря вышеперечисленным особенностям мягкие вычисления идеально подходят для формирования моделей современных процессов, учитывающих большое количество стохастических факторов. Использование такого подхода в системах автоматизированного проектирования позволяет выйти программным продуктам на новый уровень, лишенный многих недостатков, присущих системам, использующим стандартный подход.

В статье будут рассмотрены наиболее популярные компоненты, входящие в состав мягких вычислений: нейронные сети, генетический алгоритм и нечеткая логика.

1. Нейросетевые технологии. Нейронные сети представляют собой упрощенную модель человеческого мозга. Мозг состоит из нейронов, которые являются индивидуальными процессорами. Искусственные нейроны сети имитируют работу мозга. Информация передается между нейронами, а структура и вес нервных окончаний определяют поведение сети.

Первой такой моделью мозга был перцептрон, представляющий собой концептуальную модель, состоящую из одного процессора. Каждое соединение от входа к ядру включает коэффициент, который показывает фактор веса, определяет влияние одной ячейки на другую. Положительные веса показывают усиление, а отрицательные – запрещение. Совместно с входами в ячейку они определяют поведение сети. Модель перцептрона представлена на рисунке 1.

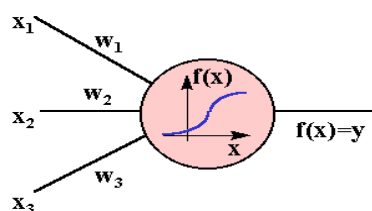


Рис. 1. Модель нейрона

Многослойные сети позволяют создавать более сложные, нелинейные связи между входными данными и результатами на выходе. Представленная на рисунке 2 сеть состоит из входного, промежуточного и выходного слоев. U_1, U_2 – входные ячейки, U_3, U_4 – скрытые ячейки, U_5 – выходная ячейка, W – вес.

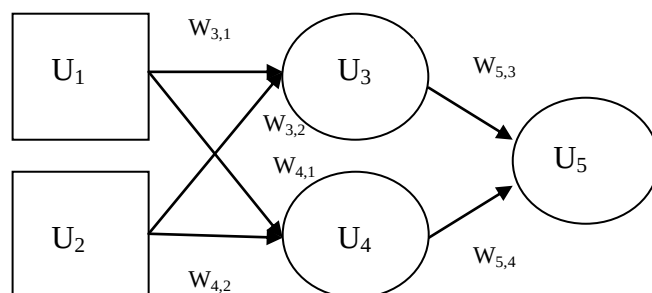


Рис. 2. Многослойная нейронная сеть

Входные ячейки задают входное воздействие, скрытые и выходные ячейки представляют собой функцию. Результат суммирования дополни-

тельно обрабатывается функцией «сжатие» (обычно сигмоид), результат которой выдается на выходе ячейки.

Нейронные сети, используемые при управлении, называют нейроконтроллерами.

Нейронные сети можно классифицировать по нескольким характеристикам.

Одна из классификаций приведена на рисунке 3.

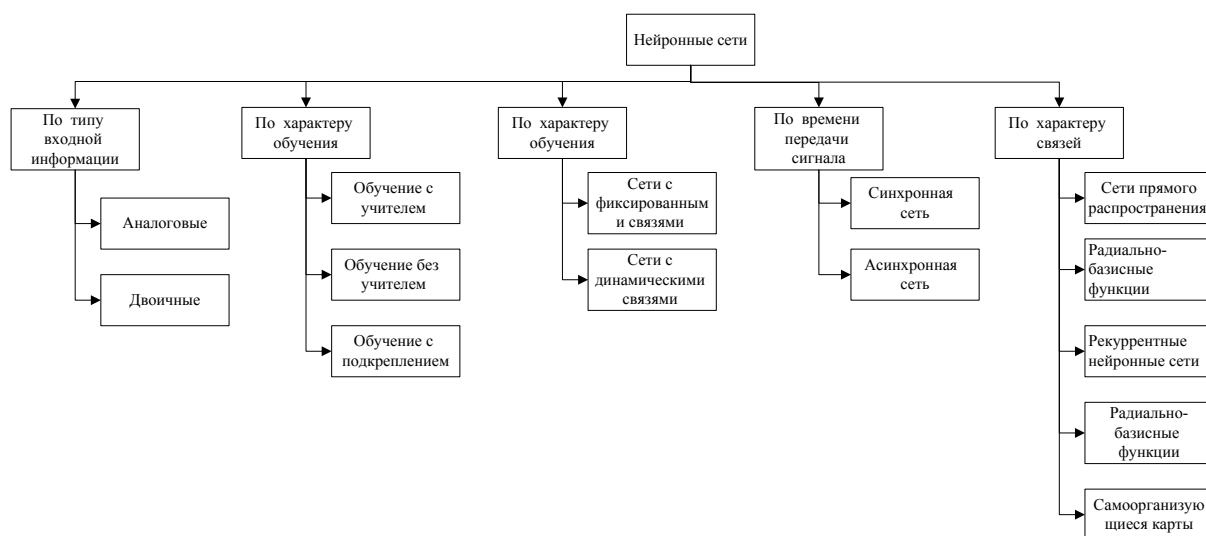


Рис. 3. Классификация нейронной сети

Обучить нейронную сеть – значит, сообщить ей, что от нее требуется, как показано на рисунке 4.

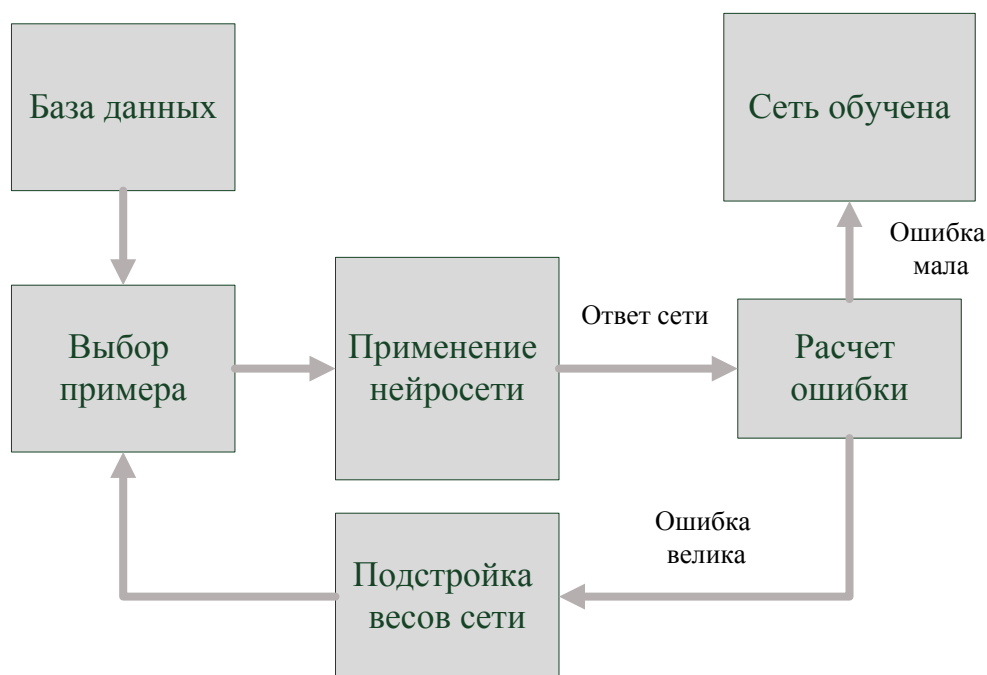


Рис. 4. Схема обучения нейронной сети

Для обучения необходима база, включающая в себя примеры. Предъявляя примеры на вход нейронной сети, получаем от нее некоторый ответ, не обязательно верный. Известен и верный (желаемый) ответ. Обычно в качестве желаемого выхода в задаче классификации берут набор (1, 0, 0, ...). Вычисляя разность между желаемым ответом и реальным ответом сети, получаем *вектор ошибки*. Самым популярным алгоритмом обучения нейронных сетей является алгоритм обратного распространения. В этом методе производится изменение весов. Ошибка распространяется от выходного слоя к входному, т.е. в направлении, противоположном направлению прохождения сигнала при нормальном функционировании сети. После многократного предъявления примеров веса нейронной сети стабилизируются, причем нейронная сеть дает правильные ответы на все (или почти все) примеры из базы данных. В таком случае говорят, что «нейронная сеть выучила все примеры», «нейронная сеть обучена» или «нейронная сеть натренирована». Качество обучения нейронной сети напрямую зависит от количества примеров в обучающей выборке, а также от того, насколько полно эти примеры описывают данную задачу.

Нейронные сети применяются в следующих областях:

- 1) прогнозирование;
- 2) кластеризация и поиск зависимостей;
- 3) классификация и распознавание образов;
- 4) принятие решений и управление;
- 5) сжатие данных и ассоциативная память;
- 6) решение задач вычислительной математики, таких как: системы линейных и нелинейных алгебраических уравнений, решение дифференциальных уравнений, аппроксимация функций и т.д.

Ниже будет представлен пример решения системы линейных уравнений с помощью нейронной сети.

Система линейных уравнений в матричной форме представляется в виде:

$$Ax=b,$$

где A – квадратичная матрица размерности $(N \times N)$; b – вектор размерности $(N \times 1)$.

Требуется найти значения вектора x , при котором все уравнения обращаются в тождества. При $\det A=0$ система имеет единственное решение для любого b .

Входным сигналом нейронной сети будет искомым вектор x . В начальный момент он равен некоторому своему приближению. Выходным сигналом НС будет вектор y , имеющий число компонент, равное числу

уравнений, и несущий информацию о решаемости каждого уравнения. Желаемым значением $\bar{y}$ выходного вектора y примем нуль. Структура НС будет иметь вид:

$$y=f(Ax-b), \quad (1)$$

где

$$f(g_n) = f_1(g_n) = f(x) = \begin{cases} 0, & -\delta < g_n < \delta \\ g_n, & \text{иначе} \end{cases}; n=1, \dots, N$$

Сигнал ошибки e определяется как разность полученного и желаемого результатов. Критерием качества динамической системы будет являться достижение минимума функционала, зависящего от ошибки. Выберем его в виде квадратичной функции ошибки:

$$F=e^T e=(f_1(Ax-b))^2.$$

Нахождение решения будет состоять в поиске такого входного сигнала x , при котором бы F принимал бы наименьшее значение

$$F(e) \rightarrow \min.$$

Выражение для функционала принимает вид:

$$F(x) = \sum_{i=1}^N (f_1(\sum_{j=1}^N a_{ij}x_j - b_i))^2 \quad (2)$$

Настройка проводится с помощью итерационного градиентного метода:

$$x(k+1) = x(k) - \Delta x(k), \Delta x(k) = H \frac{\partial F}{\partial x} \Big|_{x=x(k)}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial F}{\partial x_n} = 2 \sum_{i=1}^N (f_1(\sum_{j=1}^N a_{ij}x_j - b_i))^{a_{in}}.$$

Учитывая (1), получаем

$$\frac{\partial F}{\partial x_n} = 2 \sum_{i=1}^N y_i a_{in}.$$

В векторной форме

$$\frac{\partial F^T}{\partial x_n} = 2y^T A.$$

Значение поправки вычисляется на каждой итерации по формулам (2) и (3).

Оптимальное значение шага H , обеспечивающее наилучшую скорость сходимости, имеет вид

$$H(k) = h(k)l.$$

Значение $h(k)$ изменяется в процессе работы согласно некоторому алгоритму, одним из которых является алгоритм отжига

$$h(k) = h(0) \ln 9 \left(\frac{P}{k + e} \right).$$

В результате полный вид НС, решающей СЛУ, имеет вид

$$\begin{aligned} x(0) &= [0] \\ y(k) &= f_1(Ax(k) - b) \\ x(k+1) &= x(k) - 2HA^T y(k) \end{aligned}$$

Структура алгоритма в виде замкнутой системы представлена на рисунке 5.

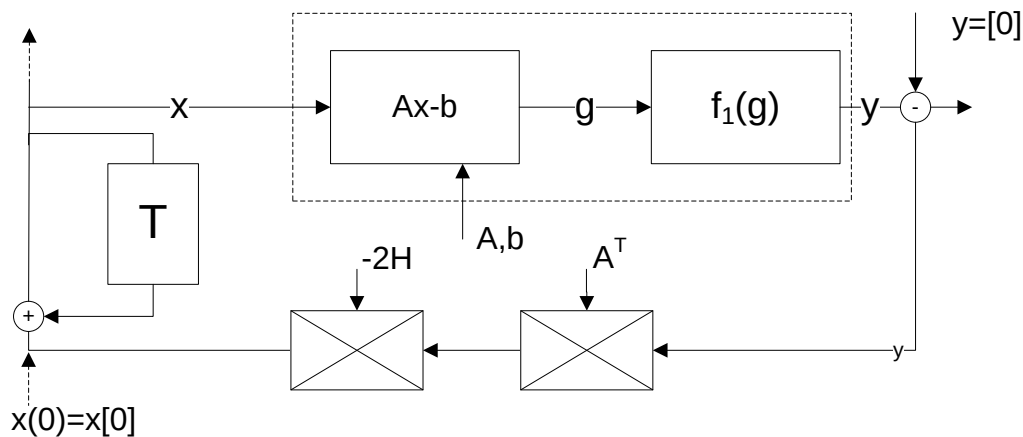


Рис. 5. Структура нейронного алгоритма

2. Генетические алгоритмы. Генетический алгоритм представляет собой технику оптимизации, которая моделирует феномен естественной эволюции. Генетический алгоритм работает с группой решений (хромосомами), которые кодируются особым способом для конкретной решаемой задачи. Качество решения отражает целевая функция.

В результате отбора решений с лучшими целевыми функциями и использования генетических операторов в популяции остаются только те хромосомы, которые наиболее полно отвечают задаче.

Генетический алгоритм выполняется в три этапа (если не учитывать начальное создание популяции):

1. *Инициализация.* Создание начальной популяции (набор решений) позволяет сформировать отправную точку для работы алгоритма. Обычно это выполняется путем производственного создания отдельных решений, но также допускается добавлять в популяцию «здоровых» хромосом.
2. *Оценка.* Этап оценки дает возможность определить качественные показатели полученных решений и упорядочить их по убыванию.

3. *Отбор*. На этом этапе решения выбираются для дальнейшего использования. Отбор осуществляется на основании значения целевой функции. Этот процесс является двусторонним, т.к. если включить в выбор только здоровые хромосомы, то решение становится достаточно ограниченным по причине недостаточного разнообразия. Если выбор осуществлять произвольно, то нет гарантии, что впоследствии решения будут улучшаться. В результате выбирается группа решений, которые будут участвовать в рекомбинации.

Существует множество алгоритмов отбора: случайный отбор, элитный отбор, «метод рулетки» и др. Одной из наиболее используемых стратегий является «метод рулетки». При использовании этой стратегии отбор основывается на здоровье хромосомы. Чем больше здоровье, тем больше вероятность того, что она выживет.

4. *Рекомбинация*. При рекомбинации части хромосом модифицируются, и получившиеся хромосомы возвращаются опять в популяцию для формирования следующего поколения. Первая группа хромосом называется родителями, а вторая – детьми. С одинаковой вероятностью могут применяться один или несколько генетических операторов.

В результате рекомбинации получается новая популяция. Алгоритм выполняется заново с новой популяцией. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто условие остановки (заданная точность размещения, установленное количество поколений).

Преимущества генетических алгоритмов:

- не требуется никакой информации о поверхности ответа;
- разрывы, существующие на поверхности ответа, имеют незначительный эффект на полную эффективность оптимизации;
- стойкость к попаданию в локальные оптимумы;
- хорошо работают при решении крупномасштабных проблем оптимизации;
- используются для широкого класса задач;
- просты и прозрачны в реализации;
- могут быть использованы в задачах с изменяющейся средой.

Нежелательно и проблематично использовать ГА в следующих случаях, когда:

- необходимо найти точный глобальный оптимум;
- время исполнения функции оценки велико;
- необходимо найти все решения задачи, а не одно из них;
- конфигурация является непростой (кодирование решения).

Генетические алгоритмы наиболее часто используются при решении задач оптимизации, также их применяют при решении большого числа задач вычислительной математики, что немаловажно при построении моделей процессов и систем.

Ниже представлен метод решения системы линейных алгоритмов с помощью генетических операторов.

Постановка задачи была приведена в предыдущем пункте. Данный метод включает следующие этапы:

- 1) инициализация – создание начального набора решений, формирование вектора x выполняется путем генерации случайных чисел из заданного диапазона;
- 2) оценка – этап оценки дает возможность определить качественные показатели полученных решений и упорядочить их по убыванию. Оценка качества решений осуществляется в результате нахождения отклонения значения, полученного в результате подстановки значения вектора x в уравнения системы, от нуля для каждого уравнения и для системы в целом;
- 3) отбор решений;
- 4) применение операторов кроссинговера и мутации. Сила оператора мутации имеется в зависимости от величины ошибки;
- 5) алгоритм прекращает работу при достижении желаемой точности или заданного количества поколений.

Применение генетических алгоритмов дает преимущество перед стандартными методами при решении систем большой размерности.

3. Нечеткие вычисления. Математическая теория нечетких множеств (fuzzy sets) и нечеткая логика (fuzzy logic) являются обобщениями классической теории множеств и классической формальной логики. Данные понятия были впервые предложены американским ученым Лотфи Заде (Lotfi Zadeh) в 1965 г. Основной причиной появления новой теории стало наличие нечетких и приближенных рассуждений при описании человеком процессов, систем, объектов.

Характеристикой нечеткого множества выступает функция принадлежности. Обозначим через $MF_C(x)$ степень принадлежности к нечеткому множеству C , представляющей собой обобщение понятия характеристической функции обычного множества. Тогда нечетким множеством C называется множество упорядоченных пар вида $C = \{MF_C(x)/x\}$, $MF_C(x) \in [0,1]$. Значение $MF_C(x)=0$ означает отсутствие принадлежности к множеству, 1 – полную принадлежность.

Основными логическими операциями являются объединение и пересечение.

Пересечение двух нечетких множеств (нечеткое «И»): $A \cap B$:
 $MF_{AB}(x) = \min(MF_A(x), MF_B(x))$.

Объединение двух нечетких множеств (нечеткое «ИЛИ»): $A \cup B$: $MF_{AB}(x) = \max(MF_A(x), MF_B(x))$.

Операторы пересечения, объединения и дополнения реализованы в так называемых треугольных нормах и конормах. Приведенные выше реализации операций пересечения и объединения – наиболее распространенные случаи t -нормы и t -конормы.

Для описания нечетких множеств вводятся понятия нечеткой и лингвистической переменных.

Нечеткая переменная описывается набором (N, X, A) , где N – это название переменной, X – универсальное множество (область рассуждений), A – нечеткое множество на X .

Значениями лингвистической переменной могут быть нечеткие переменные, т.е. лингвистическая переменная находится на более высоком уровне, чем нечеткая переменная. Каждая лингвистическая переменная состоит:

- из названия;
- множества своих значений, которое также называется базовым терм-множеством T . Элементы базового терм-множества представляют собой названия нечетких переменных;
- универсального множества X ;
- синтаксического правила G , по которому генерируются новые термы с применением слов естественного или формального языка;
- семантического правила P , которое каждому значению лингвистической переменной ставит в соответствие нечеткое подмножество множества X .

Существует свыше десятка типовых форм кривых для задания функций принадлежности. Наибольшее распространение получили: треугольная, трапецеидальная и гауссова функции принадлежности.

Треугольная функция принадлежности определяется тройкой чисел (a, b, c) , и ее значение в точке x вычисляется согласно выражению

$$MF(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1 - \frac{x-c}{c-d}, & b \leq x \leq c \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

Для задания трапецеидальной функции принадлежности необходима четверка чисел (a, b, c, d)

$$MF(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 1 - \frac{x-c}{c-d}, & c \leq x \leq d \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

Функция принадлежности гауссова типа описывается формулой

$$MF(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2\right]$$

Совокупность функций принадлежности для каждого терма из базового терм-множества Т обычно изображаются вместе на одном графике.

Основой для проведения операции нечеткого логического вывода является база правил, содержащая нечеткие высказывания в форме «Если–то» и функции принадлежности для соответствующих лингвистических термов. При этом должны соблюдаться следующие условия:

- 1) существует хотя бы одно правило для каждого лингвистического терма выходной переменной;
- 2) для любого терма входной переменной имеется хотя бы одно правило, в котором этот терм используется в качестве предпосылки (левая часть правила).

В противном случае имеет место неполная база нечетких правил.

Пусть в базе правил имеется m правил вида:

R_1 : ЕСЛИ x_1 это A_{11} ... И ... x_n это A_{1n} , ТО y это B_1

...

R_i : ЕСЛИ x_1 это A_{i1} ... И ... x_n это A_{in} , ТО y это B_i

...

R_m : ЕСЛИ x_1 это A_{m1} ... И ... x_n это A_{mn} , ТО y это B_m ,

где x_k , $k=1..n$ – входные переменные; y – выходная переменная; A_{ik} – заданные нечеткие множества с функциями принадлежности.

Результатом нечеткого вывода является четкое значение переменной y^* на основе заданных четких значений x_k , $k=1..n$.

В общем случае механизм логического вывода включает четыре этапа: введение нечеткости (фазификация), нечеткий вывод, композиция и приведение к четкости, или дефазификация.

Алгоритмы нечеткого вывода различаются главным образом видом используемых правил, логических операций и разновидностью метода дефазификации. Существуют модели нечеткого вывода Мамдани, Сугено, Ларсена, Цукамото.

Элементы нечеткой логики применяются практически во всех остальных компонентах методологии мягких вычислений, наделяя их новой функциональностью.

Нечеткие нейронные сети осуществляют выводы на основе аппарата нечеткой логики, однако параметры функций принадлежности настраиваются с использованием алгоритмов обучения НС. Нечеткая нейронная сеть, как правило, состоит из четырех слоев: слоя фазификации входных переменных, слоя агрегирования значений активации условия, слоя агрегирования нечетких правил и выходного слоя. Наибольшее распространение в настоящее время получили архитектуры нечеткой НС вида ANFIS и TSK. Доказано, что такие сети являются универсальными аппроксиматорами.

Также элементы нечеткой логики успешно применяются в генетических алгоритмах. Наиболее эффективным является применение нечеткого вывода при отборе решений для применения генетических операторов. Применение нечеткой логики приводит к увеличению эффективности алгоритма.

Заключение. Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки. Комбинация методов позволяет в полной мере воспользоваться достоинствами каждой из методологий. Поэтому мягкие вычисления приобретают все большую популярность. Одним из перспективных направлений для применения мягких вычислений является использование этих методик в модулях систем автоматизированного проектирования. Так как постоянно возрастает сложность проектируемых схем, увеличиваются требования к точности и скорости проектирования, возникает необходимость учета все большего числа факторов. Поэтому становится необходимым применение методик способных гибко подстраиваться к различным изменениям в процессах и решать сложные задачи с большой точностью за небольшой промежуток времени.

Библиографический список

1. Тарасов, В.Б. Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте [Текст] / В.Б. Тарасов // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – 100 с.
2. Круглов, В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети [Текст] / В.В. Круглов [и др.]. – М. : Физматлит, 2001. – 221 с.
3. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский. – М. : // Горячая линия-Телеком, 2006. – 383 с.
4. Романов, В.П. Интеллектуальные информационные системы в экономике [Текст] / В.П. Романов. – М., 2003. – 496 с.
5. Батыршин, И.З. Теория и практика нечетких гибридных систем [Текст] / И.З. Батыршин, А.А. Недосекин, А.А. Стецко, В.Б. Тарасов, А.В. Язенин, Н.Г. Ярушкина. – М. : Физматлит, 2006. – 335 с.
6. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации [Текст] / С. Осовский // Финансы и статистика. – 2002. – 344 с.
7. Батыршин, И.З. Основные операции нечеткой логики и их обобщения [Текст] / И.З. Батыршин. – М. : Отечество, 2001. – 100 с.
8. Белашов, В.Ю. Эффективные алгоритмы и программы вычислительной математики [Текст] / В.Ю. Белашов, Н.М. Чернова. – М. : СВКНИИ ДВО РАН, 1997. – 160 с.

9. Круглов, В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети [Текст] / В.В. Круглов, М.И. Дли. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 224 с.
10. Каллан, Р. Основные концепции нейронных сетей [Текст] / Р. Каллан. – М. : Вильямс, 2001. – 228 с.
11. Гладков Л.А. Генетические алгоритмы [Текст] / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик // Физико-математическая литература. – 2006. – 339 с.

УДК 681.3

Береза А.Н., Ляшов М.В.

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ НЕЧЕТКИЙ КОНТРОЛЛЕР

В работе рассмотрена новая парадигма мягких вычислений, развивающаяся на протяжении последних 40 лет, применительно к аппаратным системам с элементами нечеткой логики, которые позволяют значительно увеличить производительность современных интеллектуальных систем в целом и, соответственно, ставить и решать более масштабные задачи.

Введение. Научно технический прогресс зависит от появления новых теорий, парадигм, моделей, методов, алгоритмов и т.д. Одной из таких парадигм являются мягкие вычисления, которые развиваются на протяжении последних 40 лет. Первые работы в этой области появились в 1965 г., когда профессор Заде (Zadeh) из Калифорнийского университета в Беркли опубликовал основополагающую статью «Fuzzy Sets» в журнале «Information and Control» [1]. Термин мягкие вычисления относится к семейству вычислительных методов, который включает в себя: эволюционные вычисления, нейронные сети и нечеткую логику [14].

В последнее десятилетие увеличился интерес к гибридным системам, которые получаются в результате объединения компонентов мягких вычислений. Недостатки одних компенсируются достоинствами других и при этом позволяют получать лучшие результаты. Несмотря на большое количество разработанных методов и алгоритмов гибридных мягких вычислений в виде программных продуктов, недостаточно внимания уделялось их аппаратной реализации. Достижения современной микроэлектроники позволяют создавать аппаратные модули, реализующие алгоритмы мягких вычислений, которые могут быть составными частями современных информационных систем. Одной из таких систем являются современные системы автоматизированного проектирования (САПР). Основная тенденция развития САПР – это интеллектуализация. Интеллектуальные процедуры и алгоритмы могут встраиваться как в программные, так и в аппаратные компоненты САПР. Применение аппаратных модулей позволит значительно увеличить производительность САПР в целом и соответственно ставить и решать более масштабные задачи.

Среди известных на сегодняшний день решений аппаратной реализации гибридных мягких спецвычислителей следует отметить следующие:

- 1) генетические нечеткие контроллеры для автономных мобильных роботов, способных самостоятельно ориентироваться на местности [2–5, 7–10];
- 2) устройства эволюционного синтеза цифровых конечных автоматов, для различных систем управления техническими и технологическими объектами [2];
- 3) аппаратные эволюционные нейронные сети для интеллектуальных систем обработки информации [3];
- 4) Реконфигурируемый эволюционный нечеткий контроллер для коммутации пакетов в сетях передачи данных [3].

Обычные подходы к представлению знаний базируются на бинарной логике, основной недостаток которой – сложность представления нечетких и размытых данных. Как следствие, обычные подходы не обеспечивают достаточную точность модели адекватную реальному миру.

Прилагательное «fuzzy», которое переводится на русский как «нечеткий», «размытый», «ворсистый», «пушистый», введено в название новой теории, чтобы дистанцировать ее от традиционной четкой математики и Аристотелевой логики, оперирующих с четкими понятиями «принадлежит – не принадлежит», «истина – ложь». Понятие нечеткого множества – это попытка формализации лингвистической информации для построения математических моделей. В основе этого понятия лежит представление о том, что составляющие данное множество элементы, обладающие общим свойством, могут обладать им в различной степени и, следовательно, принадлежать к этому множеству с различной степенью. При таком подходе высказывания типа «такой-то элемент принадлежит данному множеству» теряют смысл, поскольку необходимо указать, насколько сильно или с какой степенью элемент удовлетворяет свойствам множества [11].

Аппарат нечеткой математики позволяет формализовать нечеткие понятия и знания, оперировать этими знаниями и делать нечеткие выводы. Как следует из названия, эта теория предполагает неточные, неполные, приблизительные оценки объектов, ситуаций, явлений. Необходимость использования такого подхода вызвана следующими обстоятельствами [11]:

- при решении некоторых проблем не нужна точная оценка параметров объектов и явлений;
- по утверждению Л. Заде, с ростом сложности системы постепенно падает способность человека делать точные и в то же время значащие утверждения относительно ее поведения, пока не будет достигнут порог, за которым точность и значимость становятся взаимоисключающими характеристиками.

Наиболее существенные особенности моделей реальных систем, построенных с использованием аппарата нечеткой математики (нечеткие методы), состоят в следующем:

- гибкость по сравнению с традиционными четкими системами, так как они позволяют описывать знания и опыт человека в привычной для него форме;
- адекватность реальному миру, поскольку позволяет получить решение, по точности соотносимое с исходными данными;
- возможность в ряде случаев более быстрого получения окончательного результата, чем на «точных» моделях, в силу специфического построения и простоты используемых нечетких операций;
- универсальность – согласно знаменитой теореме FAT (Fuzzy Approximation Theorem), доказанной Б. Коско (B. Kosko) в 1993 г., любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике;

Нечеткие методы построения систем характеризуются следующими тремя отличительными чертами:

- 1) использованием, так называемых лингвистических переменных вместо числовых переменных или в дополнение к ним;
- 2) простые отношения между переменными описываются с помощью нечетких высказываний;
- 3) сложные отношения описываются нечеткими алгоритмами.

Для нечетких экспертных и управляющих систем характерны определенные недостатки [11]:

- они не способны обучаться;
- исходный набор постулируемых нечетких правил формулируется экспертом-человеком и может оказаться неполным или противоречивым;
- вид и параметры функций принадлежности, описывающих входные и выходные переменные системы, выбираются субъективно и могут оказаться не вполне отражающими реальную действительность.

Нечеткая система – это любая система, которая использует нечеткую логику как основу для представления различных форм знаний или модели взаимодействия между переменными системы. Сегодня одной из важных областей применения нечетких множеств являются нечеткие системы вывода, основанные на правилах (fuzzy rule-based systems (FRBSs)) – это расширение классических экспертных систем, основанных на лингвистических правилах «Если-то».

Система нечеткого вывода (СНВ), известная также как контроллер нечеткой логики, принимающая на входе четкое множество и делающая нечеткий вывод, была предложена Мамдани в 1974 г.

Структурная схема системы нечеткого вывода Мамдани представлена на рисунке 1.

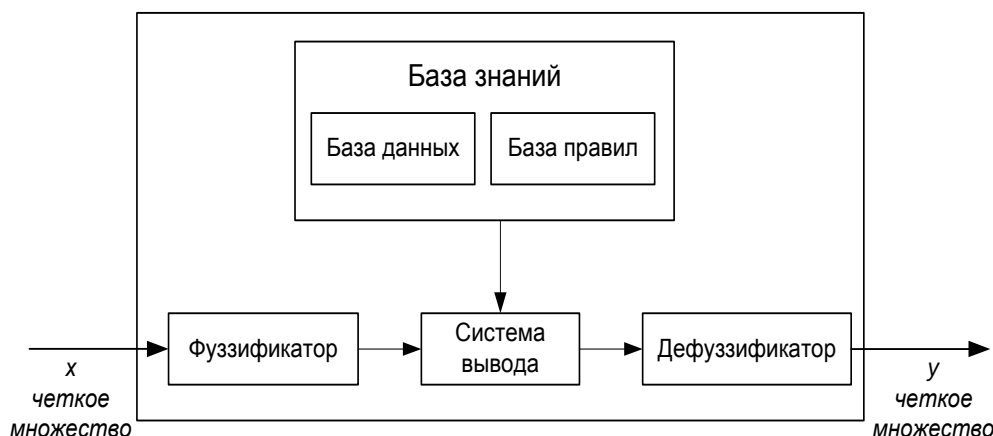


Рис. 1. Структурная схема системы нечеткого вывода Мамдани

Фуззификатор преобразует точное множество входных данных в нечеткое множество, определяемое с помощью значений функций принадлежности, тогда как дефуззификатор решает обратную задачу – он формирует однозначное решение относительно значения входной переменной на основании многих нечетких выводов.

Основная часть системы нечеткого вывода Мамдани – база знаний, в которой хранятся нечеткие правила «Если-то». Общая структура правил в СНВ Мамдани предполагает использование лингвистических переменных.

Следовательно, когда у нас есть несколько входов и один выход лингвистические правила имеют следующую форму записи

Если X_1 есть A_1 и ... и X_n есть A_n тогда Y есть B ,

где X_i и Y – входная и выходная лингвистические переменные, соответственно, A_i и B – нечеткие значения переменных.

База знаний состоит из двух различных информационных уровней:

- база данных (БД) содержит наборы лингвистических термов, которые рассматриваются в лингвистических правилах и функциях принадлежности, определяющих семантику лингвистических ярлыков. Каждая лингвистическая переменная связывает нечеткую часть ее области, представляющая нечеткое множество;
- набор правил – содержит набор лингвистических правил.

Генетические нечеткие системы (ГНС) [3] – это нечеткие системы, которые дополнены эволюционным процессом обучения. Расширением ГНС являются генетические нечеткие системы, основанные на правилах genetic fuzzy rule-based systems (GFRBSs), где эволюционные алгоритмы применяются для обучения и настройки различных компонент FRBS.

Существуют две главные задачи в создании FRBS:

- 1) создание механизма вывода;
- 2) генерация набора нечетких правил.

Задачу автоматического создания FRBS можно рассматривать как задачу оптимизации или проблему поиска. Применение генетических алгоритмов позволяет находить около оптимальные решения в сложных пространствах поиска, и позволяют включать априорное знание.

В случае с FRBS это априорное знание может в форме лингвистических переменных, параметров функций принадлежности, нечетких правил и т.д.

Рисунок 2 иллюстрирует эту идею, где генетический алгоритм используется для обучения или подстройки компонентов базы знаний.

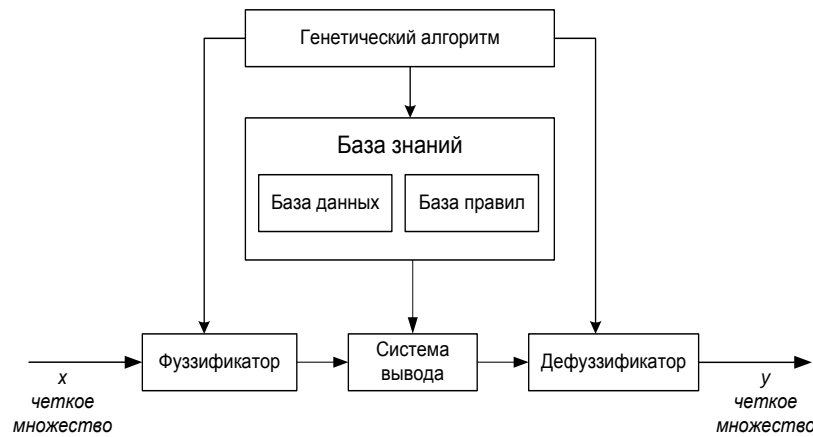


Рис. 2. Генетическая нечеткая система

Важно отметить, что генетический процесс обучения стремится оптимизировать базу знаний. Следовательно, GFRBSs – метод создания FRBS, который использует эволюционные методы, чтобы генерировать или модифицировать всю базу знаний, либо какую-нибудь ее составную часть.

Классификация применения генетического алгоритма в ГНС приведена на рисунке 3.

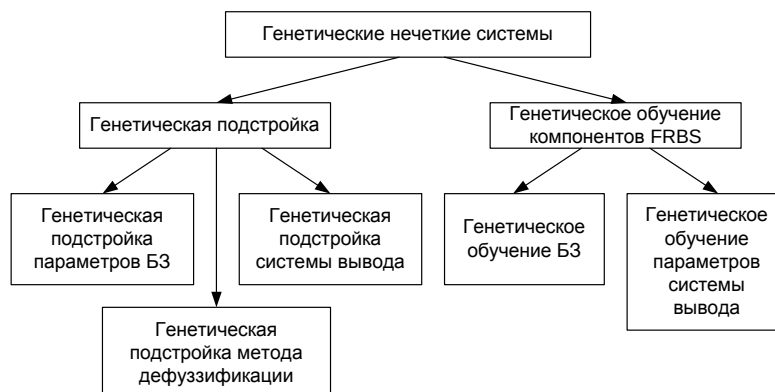


Рис. 3. Классификация применения генетического алгоритма в ГНС

Генетическая подстройка – ГА применяется для регулировки существующей базы знаний, в соответствии с изменяющимися условиями рабочей среды.

Генетическое обучение – используется для создания с нуля различных компонентов нечеткой базы знаний, а также системы нечеткого вывода.

Параметры базы знаний составляют пространство поиска, которое должно быть преобразовано в подходящее генетическое представление. Цель процесса поиска состоит в том, чтобы максимизировать или минимизировать функцию пригодности, которая описывает желательное поведение системы.

Пример аппаратной реализации генетического контроллера нечеткой логики приведен на рисунке 4.

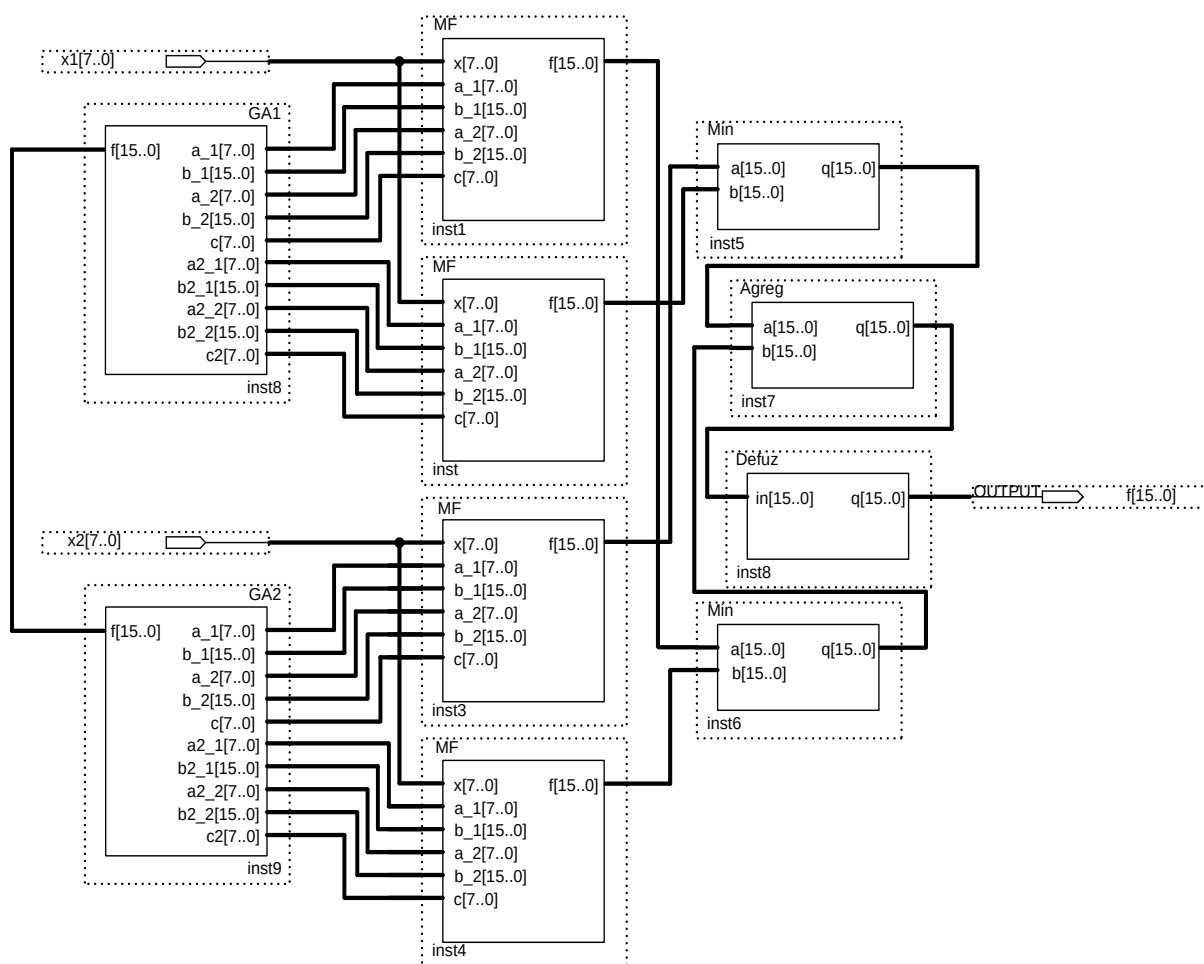


Рис. 4. Принципиальная схема контроллера нечеткой логики в файле верхнего уровня, созданная в пакете Quartus II

Блоки MF образуют фuzziфикатор, который преобразует N -мерный входной вектор $x = [x_1, x_2, \dots, x_N]$ в нечеткое множество A , характеризуемое функцией принадлежности $\mu_A(x)$ с четкими переменными. Принципиальная схема блока MF показана на рисунке 5.

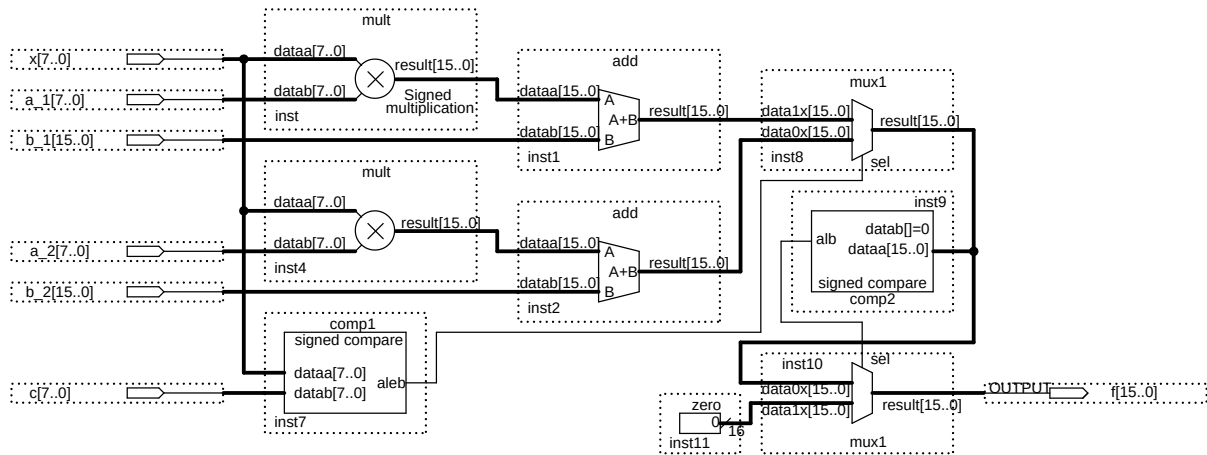


Рис. 5. Принципиальная схема блока MF

Блоки MF реализует треугольную функцию принадлежности (рис. 6). На входы a_1 , b_1 и a_2 , b_2 подаются значения a и b уравнений прямых $a1-b$ и $b-a2$ ($y = ax + b$), которые образуют функцию принадлежности, в соответствии с рисунком 6.

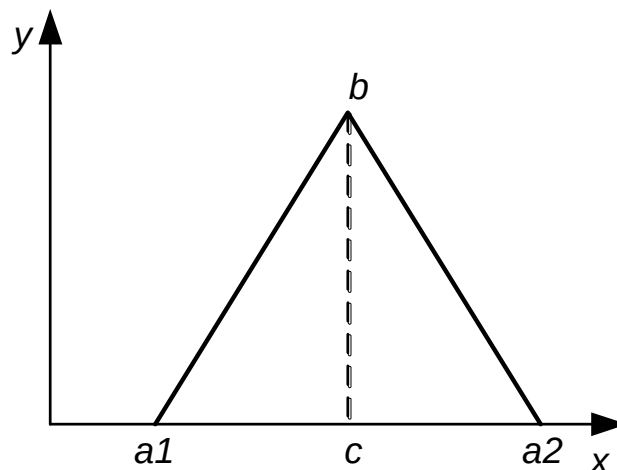


Рис. 6. Функция принадлежности, реализуемая блоками MF

Блоки GA1 и GA2 реализуют простой генетический алгоритм, который позволяет подстраивать значения входов a_1 , b_1 и a_2 , b_2 блоков MF, что позволяет изменять параметры функций принадлежности во время работы контроллера.

Блок дефuzziфикатора Defuz трансформирует нечеткое множество в детерминированное значение y в форме выбора максимального из максимальных значений y .

Пример генетической подстройки функций принадлежности нечеткого контроллера приведен на рисунке 7.

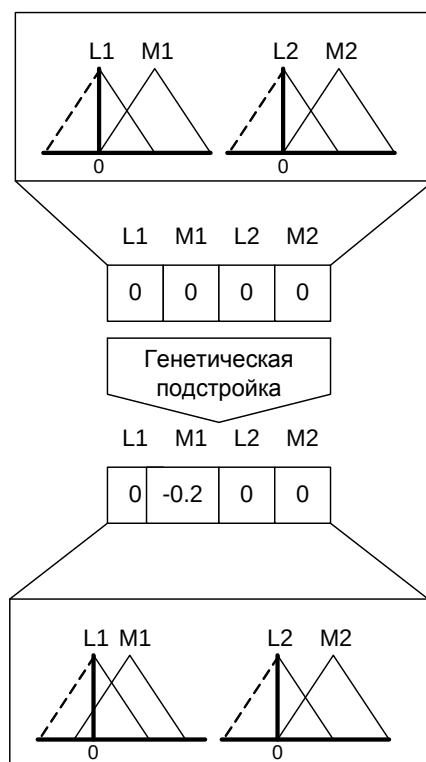


Рис. 7. Пример генетической подстройки функций принадлежности

Хромосома представляет собой набор параметров (a_1 , b_1 и a_2 , b_2) функций принадлежности блоков MF . На рисунке 7 исходная хромосома инициализирована нулями, что означает исходное состояния параметров функций принадлежности (значения по умолчанию). В результате изменения внешних условий генетическому нечеткому контроллеру был подан сигнал и запущен процесс генетической подстройки. В результате генетического поиска были найдены оптимальные параметры исходных функций принадлежности, соответствующие изменившимся условиям. На рисунке это представлено изменением функции принадлежности $M1$.

В результате моделирования работы генетического нечеткого контроллера в системе автоматического проектирования Quartus II временная задержка составляет не более 60 нс. Один модуль контроллера занимает в микросхеме семейства Strarix EP1S10F484C5 фирмы Altera менее 20 %. Это позволяет создавать гибкие реконфигурируемые гибридные вычислительные системы с элементами нечеткой логики, которые могут использоваться в современных интеллектуальных системах.

Библиографический список

1. Zadeh, L. Fuzzy Sets. Information and Control / L. Zadeh. – 1965. – № 8. – P. 338–353.
2. Higuchi, T. Evolvable Hardware / T. Higuchi, Y. Liu, X. Yao. – 2006. – 224 с.
3. Nedjah, N. Evolvable Machines: Theory and Practice. Studies in Fuzziness and Soft Computing / N. Nedjah // Volume 161. – 2004. – 260 p.
4. Garrison, W. Greenwood Introduction to Evolvable Hardware: A Practical Guide for Designing Self-Adaptive Systems / W. Greenwood, M. Garrison Andrew Tyrrell // IEEE Press Series on Computational Intelligence. – 2006. – 208 p.
5. Herrera, F. Genetic Fuzzy Systems: Status, Critical Considerations and Future Directions / F. Herrera // International Journal of Computational Intelligence Research (IJCIR). – Vol. 1. – 2005. – № 1. – PP. 59–67.
6. Casillas, J. Genetic feature selection in a fuzzy rule-based classification system learning process for high-dimensional problems / J. Casillas, O. Cordón, M.J. Del Jesus, F. Herrera // Information Sciences: an International Journal Volume 136. – 2001. – Issue 1-4. – P. 135–157.
7. Alcalá, R.J. Genetic Learning of the Knowledge Base of a Fuzzy System by Using the Linguistic 2-Tuples Representation in Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZIEEE 2005) / R.J. Alcalá, Alcalá-Fdez., F. Herrera, J. Otero. – Reno, Nevada (USA). – IEEE Press. – 2005. – pp. 797–802,
8. Hoffmann, F. Evolutionary Design of a Fuzzy Knowledge Base for a Mobile Robot / F. Hoffmann, G. Pister // International Journal of Approximate Reasoning. – Vol. 17. – 1997. – PP. 447–469.
9. Chung, I.-F. A GA-based fuzzy adaptive learning control network. Fuzzy Sets and Systems / I.-F. Chung, C. J. Lin and C. T. Lin. – 112(1): 65–84, 2000.
10. Setzkorn, C.R. On the use of multi-objective evolutionary algorithms for the induction of fuzzy classification rule systems / C.R. Setzkorn, C. Paton // BioSystems. – Vol. 81. – 2005. – PP. 101–112.
11. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB [Текст] / С.Д. Штовба. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с. : ил.
12. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации [Текст] / С. Осовский ; пер. с польского И.Д. Рудинского. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 344 с. : ил.
13. Прикладные нечеткие системы [Текст] : пер. с япон. / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи [и др.] ; под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М. : Мир, 1993. – 368 с., ил.
14. Курейчик, В.М. Генетические алгоритмы и их применение [Текст] : монография / В.М. Курейчик. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2002. – 242 с.
15. Комарцова, Л.Г. Нейрокомпьютеры [Текст] : учеб. пособие для вузов / Л.Г. Комарцова, А.В. Максимов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с., ил.
16. Рыжов, А.П. Элементы теории нечетких множеств и ее приложений [Текст] / А.П. Рыжов. – М., 2003.

УДК 004.421.6

Мешкова Е.В., Кочковая Н.В.

ПРИНЦИПЫ И АПРОБАЦИЯ ГИБРИДНОГО МЕТОДА КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Для обработки и классификации текстовой информации ранее была предложена гибридная модель, частично реализующая возможности одного подхода (семантического) методами и инструментами другого (ассоциативного нейронного) [5].

Появление, с одной стороны, новых аппаратных и программных возможностей, а с другой – отсутствие новой принципиальной идеи в обработке текстовой информации, сделало разработку гибридных моделей, совмещающих принципиально различные подходы, одним из наиболее актуальных направлений.

Например, активно используется принцип объединения экспертных систем и нейронных сетей в одной гибридной модели. Экспертные системы работают по введенным в них правилам, известным в явном виде. Нейронные сети генерируют эти правила на основе обучающих выборок. Подобные модели применяются в сфере техники, медицины, экономики, анализа хозяйственной деятельности и т.п.

В принципе, задача автоматической классификации относится к типу задач, для решения которых создается система, основанная на знаниях. В основном для классификации необходимы описательные, декларативные знания – знания о структуре, форме, свойствах объектов предметной области, что достаточно легко реализуемо с помощью семантических сетей и фреймов.

Классификация с помощью ассоциативных нейронных сетей опирается на работу с признаками. Существует входное и выходное пространство признаков. Выходное признаковое пространство представляет собой дискретный перечень из двух или более групп данных, и задачей нейронной сети является отнесение входных векторов к одной из этих групп. Входной образ (объект) представлен вектором признаков. Термин *класс* можно определить, как совокупность предметов или понятий (образов), выделенных и сгруппированных по определенным признакам или правилам.

Обобщая сказанное, можно утверждать, что эти подходы основаны на различных принципах. Применительно к задаче автоматической классификации можно отметить, что ассоциативные нейронные сети хороши для выявления побочных неявных связей, скрытых закономерностей и выделения новых классов, а семантические устанавливают принадлежность, опираясь на математическую логику.

Семантические сети фактически представляют собой граф, в котором узлы и связи имеют имена, а создаются эти узлы и связи, и их упорядочение в структуру согласно смысловым отношениям между именами.

Исходя из этого, при создании гибридной модели принято решение о выражении свойств, связей объектов предметной области, и собственно о самих предметных областях (областях знаний) в разрабатываемой модели семантическими средствами.

Делается очевидным гибридный подход, работающий над созданием классов для нейронных сетей с помощью семантических сетей, или других моделей представления знаний. Однако возможности комбинирования методов достаточно обширны.

Один из примеров реализации гибридного подхода представлен в [1], где семантическая нейронная сеть, как формальный язык, позволяет обрабатывать смысл текста как функцию некоторой алгебры. Таким образом, формальным языком описания смысла предложения на естественном языке выступает нейронная сеть. Операции алгебры логики представляются в такой сети отдельными нейронами, выполняющими логические операции, значения предметных переменных – в виде градиентных значений, обрабатываемых нейронной сетью, а последовательность применения операций задается структурой связей между нейронами. Отдельные нейроны в рассматриваемой нейронной сети представляют собой элементарные понятия обрабатываемого смысла (предикаты), а связи между нейронами представляют собой элементарные отношения между понятиями [1].

Гибридная модель классификатора, предложенная в [2, 3], хотя и использует способ представления семантических связей на нейронной сети, основана на принципиально ином подходе. В ней отсутствуют правила вывода, извлечение смысла и собственно логические вычисления, а передача возбуждения и структура аналогичны ассоциативной нейронной сети. Разработана методика создания гибридной нейросетевой модели, позволяющая классифицировать текст на основе заложенной в текстовую информацию терминологии, и выделения неявных ассоциаций.

В работах [4, 5] предлагается ввести смысловые связи, а также каждому нейрону непосредственно присвоить свой номер и значение. Таким образом, каждый нейрон сети соответствует слову, понятию, области знаний. Закрепление за нейроном конкретного значения (слова, понятия, области определения) осуществляется посредством присвоения порядкового номера каждому нейрону, которому соответствует закрепленное за ним слово, понятие, область определения, находящееся под таким же номером в библиотеке. Для каждого слоя нейронной сети создается своя *библиотека*.

У сети появляется возможность выявлять побочные и неявные ассоциации, исходя из присутствия слов, несвязанных между собой в построенной ранее гибридной сети, в тексте, и относить к области знаний, исходя из возможных «сочетаний» слов в текстах, коррелировать результаты, поставив им в соответствие требуемые области знаний.

Особенностью модели является отсутствие работы с признаками, формирования признаковых пространств. При этом изменяется сам принцип обработки входного вектора и способ передачи сигнала.

Описанный в [2–5] классификатор был программно реализован и апробирован. В нем нашли отражение следующие разделы (области знаний): физика, химия, математика, экономика, религия. Ниже приводятся результаты вычислительного эксперимента.

Для сравнения результатов работы разработанной программы (назовем ее **ГНК** – гибридный нейросетевой классификатор) были использованы программы автоклассификации, основанные на постоянно используемых и достаточно эффективных алгоритмах: «Наивный Байес» и алгоритм SVM – Метод Опорных Векторов.

Первый авторубрикатор был реализован на основе широко известного алгоритма «**Наивный Байес**» (НБ) [6]. Например, этот алгоритм используется в одном из модулей фильтрации спама популярной почтовой программы The Bat!.

Вторая программа-классификатор создана на основе алгоритма SVM (для построения была использована программа SVM-light [7]).

В данной реализации был применен метод отделения одной рубрики от всех остальных. Результатом классификации была рубрика с наибольшей релевантностью. Если же релевантность документа для всех рубрик оказалась меньше *Null_Level* (нулевой уровень, ниже которого документы считаются не подходящими к этой рубрике), то считалось, что документ «чужой», т.е. не принадлежит ни к какой рубрике. Согласно экспериментам [8] для SVM значение *Null_Level* принято равным 0, для Наивного Байеса – равным 45.

Целью проведенного эксперимента являлась проверка работоспособности и эффективности разработанной модели, а также сопоставление ее с наиболее популярными алгоритмами классификации. Для этого были получены и следующие характеристики [8]:

- точность и полнота классификации;
- точность и полнота обнаружения «чужих» документов;
- *F*-мера.

Точность – это отношение правильно полученных документов ко всем полученным.

Полнота – отношение правильно полученных документов ко всем правильным.

F-мера – среднее пропорциональное полноты и точности:

$$F - \text{мера} = \frac{2}{(1/\text{полнота} + 1/\text{точность})} \quad (1)$$

Тестовая выборка. В качестве основного материала для тестирования использовалась выборка, состоящая из 7 различных разделов:

- Физика;
- Химия;
- Математика;
- Биология;
- Культура;
- Медицина;
- Спорт.

Тексты документов брались из www.mavica.net, www.intuit.ru, www.referats.ru, www.allmed.ru, а также из новостей сайта www.Lenta.ru, www.rbc.ru.

В каждой рубрике было примерно одинаковое количество документов – от 150 до 200, что обеспечивало равномерность абсолютных результатов – никакая из рубрик не выделялась только из-за количества документов в ней.

Нужно отметить, что документы, относящиеся к разделам «Культура» и «Медицина», должны быть отнесены разработанным классификатором к «чужим», неопознанным.

Общее количество документов в выборке составило 1213 документов. Они были разделены случайным образом на 2 части по 600 документа в каждой, с сохранением примерно равного количества документов по разделам (примерно по 85 документов в каждом).

Обучение программ-классификаторов (SVM и НБ), используемых для сравнения с разработанным, проводилось на одном из этих двух наборов, а тестирование – на другом. Помимо этого в их обучении участвовали документы, использованные на третьем этапе разработки представленной в работе модели.

После этого наборы менялись местами и прогон повторяли. В итоговых данных представлено среднее арифметическое прогонов, что усиливает их объективность. В таблице представлены усредненные результаты двух прогонов.

Методика проведения тестирования. Для проверки нахождения программами-классификаторами «чужих» документов из обучающей выборки удалялись документы какой-то одной рубрики, то есть они в обучении не участвовали. Однако при тестировании документы этой рубрики присутствовали. Если документ из удаленной рубрики определялся как «чужой», то считалось, что это правильно найденный «чужой».

Представленный в работе гибридный нейросетевой классификатор (ГНК) должен был определить как «чужие» документы, не относящиеся к областям знаний, которые он содержит.

Для SVM и НБ проведено по 7 тестов – при отсутствии поочередно каждой из рубрик. Для разработанного ГНК помимо 7 прогонов основных тем был проведен дополнительный прогон, содержащий документы (92 шт.), не относящиеся к определенной теме и не входящие в его область знаний.

При такой схеме для каждого документа возможно 5 различных исходов [8]:

- 1) «Отл»: документ из какой-то рубрики («Свой») правильно определен в свою рубрику;
- 2) «Чуж»: действительно «Чужой» документ определен как «Чужой»;
- 3) «Ошиб»: документ из какой-то рубрики определен не в свою рубрику;
- 4) «Св_чуж»: «Свой» документ ошибочно определен как «Чужой»;
- 5) «Чуж_св»: «Чужой» документ ошибочно определен как «Свой» – т.е. попал в какую-то рубрику.

Первые два пункта – правильная работа классификатора, а последние три – ошибочные исходы.

Тем самым, если произвести суммирование по всем документам тестовой выборки, то для нахождения «Чужих» документов получаем:

$$\text{Точность} = \text{Чуж} / (\text{Чуж} + \text{Св_чуж}), \quad (2)$$

$$\text{Полнота} = \text{Чуж} / (\text{Чуж} + \text{Чуж_св}). \quad (3)$$

Для оценки же классификации документов между рубриками получаем:

$$\text{Точность} = \text{Отл} / (\text{Отл} + \text{Ошиб} + \text{Чуж_св}), \quad (4)$$

$$\text{Полнота} = \text{Отл} / (\text{Отл} + \text{Ошиб} + \text{Св_чуж}). \quad (5)$$

F-мера для каждой классификации вычисляется по формуле (1).

Основные результаты. В основные результаты включены данные рубрикации для трех алгоритмов. Отметим, что параметр Null_Level позволяет регулировать соотношение *Точность/Полнота*, за счет уменьшения точности можно увеличивать полноту и наоборот. Это свойство SVM, НБ практически отсутствует у ГНК.

В таблицах 1–4 представлены результаты семи тестов.

В таблице 1 показана точность нахождения «чужих» документов. В каждом тесте в обучающей выборке (для SVM и НБ) отсутствовал один из разделов. Как было отмечено выше, ГНК должен был определить «чужие» документы незнакомых ему тем.

Таблица 1

Точность при нахождении «чужих» документов

	Физика	Математика	Химия	Биология	Культура	Медицина	Спорт
SVM	0,35	0,42	0,33	0,42	0,51	0,42	0,39
Наивный Байес	0,73	0,67	0,71	0,59	0,68	0,6	0,62
ГНК					0,85	0,76	0,92

Высокая точность нахождения «чужих» документов ГНК обусловлена тем, что документ, не содержащий слов и понятий, родственных заложенным областям знаний, воспринимается как чужой. Относительно более низкая точность раздела «Медицина» объясняется, скорее всего, некоторым пересечением понятий с разделом «Биология».

В таблице 2 приведена полнота при нахождении «чужих» документов. Здесь также ГНК показывает хорошие результаты. Отметим, что если точность нахождения «чужих» документов была значительно более высокой у ГНК, то показатель полноты лучше у SVM (или практически равен ГНК).

Таблица 2

Полнота при нахождении «чужих» документов

	Физика	Математика	Химия	Биология	Культура	Медицина	Спорт
SVM	0,85	0,79	0,78	0,64	0,92	0,94	0,91
Наивный Байес	0,63	0,58	0,62	0,54	0,25	0,21	0,23
ГНК					0,91	0,83	0,94

В таблицах 3, 4 приведена точность и полнота при нахождении и классификации «своих» документов. Эти показатели являются более важными для проверки эффективности разработанной модели классификатора.

Таблица 3

Точность при нахождении «своих» документов

	Физика	Математика	Химия	Биология	Культура	Медицина	Спорт
SVM	0,85	0,79	0,76	0,81	0,87	0,85	0,86
Наивный Байес	0,73	0,71	0,65	0,63	0,76	0,74	0,77
ГНК	0,96	0,95	0,93	0,91	распознаны как «чужие» (см. таблицу 1)		

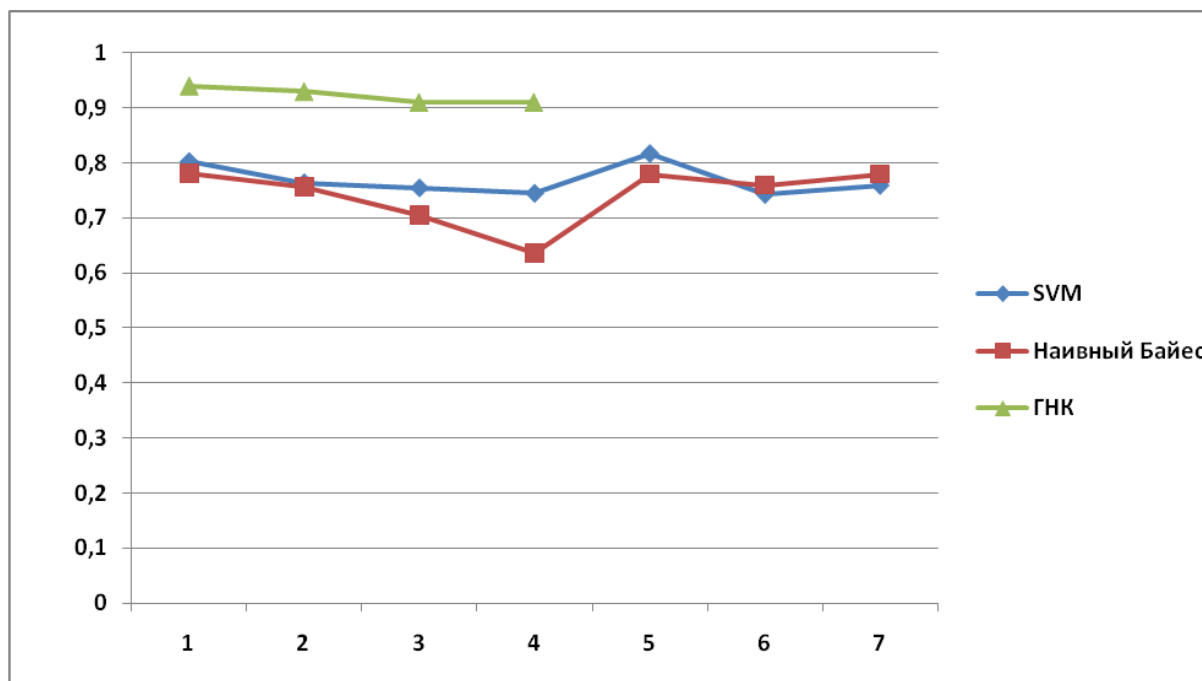
Очевидно, этот показатель будет более объективен, так как классификаторы находятся в одном положении, обучающие выборки практически одинаковы.

Таблица 4

Полнота при нахождении «своих» документов

	Физика	Математика	Химия	Биология	Культура	Медицина	Спорт
SVM	0,76	0,74	0,75	0,69	0,77	0,66	0,68
Наивный Байес	0,84	0,81	0,77	0,64	0,8	0,78	0,79
ГНК	0,92	0,91	0,89	0,91	распознаны как «чужие» (см. таблицу 2)		

График функции F -меры для трех сравниваемых алгоритмов в классификации «своих» документов показан на рисунке.

 F -мера для классификации «своих» документов

Выводы. После анализа имеющихся данных можно сделать следующие выводы. Разрабатываемый классификатор достаточно работоспособен:

- способен отсеивать «чужие» документы;
- способен распознавать с высокой точностью документы, принадлежащие к его областям знаний.

Это является основной задачей классификатора, и ГНК заметно лучше остальных алгоритмов. Положительным моментом является также способность классификатора значительно уточнять свои основные разделы.

Однако, несмотря на высокие показатели, стоит отметить ряд существенных моментов, требующих дальнейшего осмысления и проработки:

- сравнительно небольшой набор разделов, которые может различать представленная в работе модель;
- тестирование проводилось фактически на одном наборе разделов, и поведение классификаторов при существенно отличающемся наборе может также значительно отличаться.

Важным моментом является также то, что для эффективной работы представленного гибридного классификатора, область знаний должна обладать устойчивой терминологией. В случае текстов, где большое значение имеет морфология, эффективность значительно снижается.

Тем не менее, даже учитывая некоторую погрешность, эффективность разработанного гибридного нейросетевого классификатора достаточно высока, при его использовании существенно возрастает точность по сравнению с существующими аналогами.

Библиографический список

1. Дударь, З.В. Семантическая нейронная сеть, как формальный язык описания и обработки смысла текстов на естественном языке [Текст] / З.В. Дударь, Д.Е. Шуклин // Радиоэлектроника и информатика. – Харьков : Изд-во ХТУРЭ, 2000. – № 3. – С. 72–76.
2. Мешкова, Е.В. Автоматическая классификация текстов на основе ассоциативных нейронных сетей [Текст] / Е.В. Мешкова, В.Е. Мешков // Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании : материалы Междунар. науч.-практ. конф. «ИНФОТЕХ – 2002», 30 сентября – 5 октября. – Севастополь, 2002.
3. Мешкова, Е.В. Применение семантических сетей на начальном этапе обучения ассоциативных нейронных сетей [Текст] / Е.В. Мешкова, В.Е. Мешков // Анализ и синтез как методы научного познания : материалы Междунар. науч. конф. – Таганрог : ТРТУ, 2004. – Ч. 3. – 76 с.
4. Мешкова, Е.В. Построение гибридной модели на основе семантической и ассоциативной сетевых парадигм [Текст] / Е.В. Мешкова, В.Е. Мешков // Радиоэлектроника, телекоммуникации, информационные технологии : межвуз. сб. науч. трудов ; редкол. : Н.Н. Прокопенко [и др.]. – Шахты : Изд-во ЮРГУЭС, 2004. – 119 с.
5. Мешкова, Е.В. Методика построения классификатора текста на основе гибридной нейросетевой модели [Текст] / Е.В. Мешкова // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Интеллектуальные САПР». – Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ. – 2008. – № 4 (81). – 268 с.

6. Classification using Naive Bayes. – URL : http://www.resample.com/xlminer//NaiveBC/classiNB_intro.htm
7. Thorsten Joachims “SVM-light Support Vector Machine”. – URL : http://www.cs.cornell.edu/People/tj/svm_light/
8. Титов, Ю.В. Сравнительное тестирование авторубрикаторов [Электронный ресурс] / Ю.В. Титов, В.В. Фарсоби́на // Интеллектуальные информационные технологии. Концепции и инструментарий : сб. трудов Института системного анализа РАН, 2005. – URL : <http://www.isa.ru>.

УДК 004.421.6

Мешкова Е.В.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДОКУМЕНТОВ

Решение задачи автоматической классификации в целом, и текстовых документов, в частности, с наращиванием технической мощности не только не теряет своей актуальности, а напротив, становится все более необходимым в связи с постоянно возрастающим объемом текстовых данных.

Существует множество подходов к решению задачи автоматической обработки, распознавания и классификации текста, однако внимание, уделяемое данной проблеме, однозначно свидетельствует, что ни один из них не является исчерпывающим.

Системы автоматической классификации имеют различные способы представления описаний классов (внутренней структуры элементов класса), и процедуры классификации. Из них можно выделить следующие ключевые направления:

- 1) статистические классификаторы (на основе вероятностных методов, классификаторы, основанные на функциях подобия и т.д.);
- 2) классификаторы, использующие лингвистическую обработку текста;
- 3) классификаторы, использующие методы искусственного интеллекта.

Статистические методы являются наиболее часто используемыми в таких направлениях, как распознавание и классификация. К ним относятся: методы многомерного статистического анализа, в частности, факторного анализа, методы автоматической классификации (кластерного анализа, таксономии, распознавания образов без учителя), частотный анализ текста, математический анализ текста на основе законов Зипфа (Zipf).

В первой группе *статистических классификаторов* можно выделить направление, основанное на вероятностных методах. Одним из наиболее применяемых здесь является **метод Байеса** и его многочисленные модификации [1], в основе которых лежит формула Байеса для условной вероятности. Применительно к классификации текстов, анализируемый документ представляется в виде последовательности терминов, и рассчитывается вероятность того, что будет выбрана рубрика c_i , при условии, что документ пройдет успешную классификацию.

Каждая рубрика c_i характеризуется безусловной вероятностью ее выбора $P(c_i)$ в процессе классификации некоторого документа, а так же условной вероятностью встретить термин w в документе t при условии выбора рубрики c_i ($P(w|c_i)$). Процедура классификации сводится к подсчету вероятности $P(c_i|t)$ для всех рубрик c_i и выбора той, для которой эта величина максимальна. Обучение рубрикатора сводится к составлению словаря терминов $\{w_n\}$ и определению для каждой рубрики величин $P(c_i)$ и $P(w|c_i)$, где $w \in \{w_n\}$.

Дерево решений часто используется для решения задач распознавания и классификации [2]. В этом случае дерево решений может рассматриваться как некоторая иерархия категорий, к которым могут относиться классифицируемые объекты. Задача метода – определить наиболее узкую категорию (лист), к которой с заданной вероятностью относится анализируемый объект. Алгоритм дерева решений может применяться на всех этапах анализа текста, используя в каждом случае различные типы предыстории, наборы вопросов и множества исходов [2].

В общем случае дерево принятия решений – неориентированный связный граф без циклов, узлами которого являются проверяемые гипотезы, а листьями – возможные решения. По мере продвижения от корня дерева к листьям происходит последовательное «уточнение» принимаемого решения.

Метод ближайшего соседа, в отличие от других, не требует фазы обучения. Для того чтобы найти рубрики, релевантные документу d , этот документ сравнивается со всеми документами из обучающей выборки. Для каждого документа e из обучающей выборки, находится расстояние – косинус угла между векторами признаков:

$$\rho(d, e) = \cos(d, e) \quad (1)$$

Далее из обучающей выборки выбираются k документов, ближайших к d (k – параметр). Для каждой рубрики вычисляется релевантность по формуле

$$s(c_j, d) = \sum_{e \in \{k \text{ ближайших соседей}\} \wedge c_i \in \text{Rub}(e)} \cos(d, e) \quad (2)$$

Рубрики с релевантностью выше некоторого заданного порога считаются соответствующими документу. Параметр k обычно выбирается в интервале от 1 до 100.

Пусть пространство признаков X – метрическое, пространство ответов Y – любое, и в качестве ответа $f(x)$ распознавателя для объекта x берется ответ y_i его ближайшего в смысле метрики на X «соседа» x_i из обучающего набора T .

В случае наличия нескольких равноудаленных ближайших соседей определить ответ можно следующими способами:

- если вероятность наличия равноудаленных соседей равна 0, например, когда пространство X – евклидово, а распределение p непрерывно, то как угодно;
- если пространство ответов Y – линейное, например, R (одномерная регрессия), то ответы ближайших соседей можно усреднить;
- если пространство ответов Y – конечное с небольшим числом элементов, например, $\{0,1\}$ (двухклассовая классификация), то из ответов ближайших соседей можно выбрать самый частый.

После того как выбран способ усреднения в случае, если ближайших соседей оказывается несколько, *метод ближайшего соседа*, естественно, обобщается до *метода k ближайших соседей*, при $k > 1$. Распознаватель по методу $k > 1$ ближайших соседей не обязательно безошибочно распознает точки обучающего набора, зато в среднем показывает хорошие результаты.

Обучение распознавателя при методе ближайшего соседа или k соседей [3] сводится к запоминанию обучающего набора. Распознавание, как было показано выше, просто, но очень трудоемко, и трудоемкость растет с ростом объема обучающего набора и размерности пространства признаков. Существует большое количество методов ускорения поиска ближайших соседей. Этот метод показывает довольно высокую эффективность [4], но требует больших вычислительных затрат на этапе рубрикации. При росте обучающего набора – распознавание методом ближайшего соседа работает хорошо (с малым ожиданием ошибки), но требуется слишком большое количество памяти и времени работы. А при малом обучающем наборе, не заполняющем достаточно плотно пространство признаков, метод ближайшего соседа неэффективен.

Линейная регрессия. Распознавание численной (скалярной или векторной) характеристики объекта называется *регрессией*. Данный метод применим в основном для бинарной классификации – когда имеется только два целевых класса, помечаемых числами 0 и 1.

После построения регрессионной модели выбирается величина порога возвращаемого ей значения, так, что если это значение выше порога, соответствующий вектор относится к классу 1, иначе – к классу 0. Порог вы-

бирается на основе критерия минимизации ошибки классификации. Это упрощенный вариант метода логистической регрессии, описываемой в [4], обычно несколько менее точный, но на порядки быстрее работающий.

Для второго направления *статистических методов* – классификаторов, основанных на функциях подобия [2], характерна универсальность описаний, которые используются как для представления содержания рубрик, так и содержания анализируемых текстов.

Процедура классификации вычисляет меру подобия, позволяющую количественно оценивать тематическую близость описаний:

$$\begin{aligned} E: F_i \times F_t &\rightarrow [0;1], \\ F_t &\in F, F_i \in F, \end{aligned} \quad (3)$$

где F_t – содержание анализируемого текста; F_i – содержание i -й рубрики; F – множество описаний; $E(F_t, F_i)$ – мера подобия, принимающая значения от 0 до 1.

Процедура классификации сводится к преобразованию анализируемого текста t в представление $F_t \in F$, оценке подобия описания F_t с описаниями рубрик F_i (вычисление $E(F_t, F_i)$), и построению заключения по результатам сопоставления о принадлежности текста одной или нескольким рубрикам.

Последнее заключение выполняется либо на основе сравнения с пороговой величиной $E_{\min}$, так что текст относится ко всем рубрикам c_i , для которых $E(F_t, F_i) > E_{\min}$, либо из всех $E(F_t, F_i)$ выбирается максимальная величина, которая и указывает на результирующую рубрику. Наиболее характерным для таких классификаторов является использование лексических векторов модели «терм-документ» [5] в описаниях F , которые так же применяются и в нейронных классификаторах. В качестве меры подобия обычно берется косинус угла между векторами, вычисляемый через скалярное произведение, в более сложных моделях текста, использующих синтаксическое и семантическое представление, мера подобия исчисляется более сложно.

Бинарный классификатор. Все документы (тексты), включая обучающую часть выборки, разворачиваются в некоторый вектор, индексируемый словами. После этого имеется два множества точек из обучающей выборки в многомерном пространстве – A (принадлежащие жанру) и B (не принадлежащие жанру). Для того, чтобы разделить эти множества, пространство делится на две части, для чего строится гиперплоскость (гиперплоскость – плоскость в пространстве, размерность которой на единицу меньше размерности самого пространства. Выбор разделяющих гиперплоскостей по заданным множествам может быть неоднозначен, но существует ровно одна, в некотором отношении, оптимальная гиперплоскость. Такую гиперплоскость можно построить с помощью *метода опорных (поддерживающих) векторов*.

После этого для классификации текста с неизвестным жанром достаточно просто проверить, в какую часть пространства он попал. Коэффициенты, задающие нормаль гиперплоскости, характеризуют вклад, т.е. важность слова в различении классов. Данный подход имеет множество вариаций и используется достаточно часто, например, в поисковых системах.

Метод опорных векторов (Support Vector Machine – **SVM**) относится к группе граничных методов. Он определяет классы при помощи границ областей. При помощи данного метода решается описанная выше задача бинарной классификации.

В основе метода лежит понятие *плоскостей* решений. *Плоскость* решения разделяет объекты с разной классовой принадлежностью.

В классификации участвуют объекты двух типов. Разделяющая линия задает границу, справа от которой – все объекты типа 1, а слева – типа 2. Новый объект, попадающий направо, классифицируется как объект класса 1 или – как объект класса 2, если он расположился по левую сторону от разделяющей прямой. В этом случае каждый объект характеризуется двумя измерениями.

Цель метода опорных векторов – найти *плоскость*, разделяющую два множества объектов. Метод отыскивает образцы, находящиеся на границах между двумя классами, т.е. *опорные вектора*. *Опорными векторами* называются объекты множества, лежащие на границах областей.

Классификация считается хорошей, если область между границами пуста. Решение задачи бинарной классификации при помощи метода *опорных векторов* заключается в поиске некоторой линейной функции, которая правильно разделяет набор данных на два класса. В результате решения задачи, т.е. построения SVM-модели, находится функция, принимающая значения меньше нуля для векторов одного класса и больше нуля – для векторов другого класса. Для каждого нового объекта отрицательное или положительное значение определяет принадлежность объекта к одному из классов.

Классификация по ключевым словам. Это распространенный и наиболее простой подход к классификации текстов, основанный на наличие в тексте определенных слов. Подсчет, сколько раз это слово встретилось в тексте, и большое количество употреблений слова характеризует релевантность. Качество классификации существенно увеличивается, при подсчете частоты всех слов в тексте, или наиболее важных, выбранных по некоторым параметрам, как, например, на основе *законов Zipфа* (G.K. Zipf) [7].

Все перечисленные выше методы относятся к математическим. В целом можно отметить распространенность в большей степени статистических методов при решении задач автоматической классификации и создании поисковых систем.

Использование второго направления – *лингвистической обработки текста для автоматической классификации* достаточно эффективно, но очень трудоемко. В некоторых областях, например, лексико-граммати-

ческом анализе предложения, синтаксический анализ предложения, автоматическое реферирование, в большей степени применяются лингвистические методы [14].

Лингвистические методы в современных приложениях автоматической классификации и распознавания (анализа) часто используются совместно с методами искусственного интеллекта, особенно с семантическими сетями. Семантические сети строятся на основе выделенных лексических или синтаксических отношений.

Лингвистические алгоритмы позволяют отождествлять различные части речи и близкие по смыслу словосочетания. Кроме того, из числа понятий исключаются общеупотребимые слова, которые не несут самостоятельной смысловой нагрузки или имеют широкое значение. Так, слова «*концепция*» и «*развитие*» сами по себе не являются понятиями, но могут образовать понятие, выраженное сочетанием: «*концепция развития сельского хозяйства*».

Лингвистические методы часто применяются в Системах Понимания Текстов (СПТ), системах извлечения смысла, и как их частный случай, для решения задачи автоматической классификации текста.

В системах понимания текста выделяют лингвосемантическое и программное обеспечение. Первое используется для описания модели предметной области и представлено лингвистическим и семантическим словарями [8], в терминах которых СПТ формирует образ текста [9]. Работу систем понимания текста можно разделить на два этапа: лингвистическая обработка и семантическая интерпретация, выполняемые соответственно лингвистическим и семантическим модулями СПТ.

Лингвистический модуль объединяет этапы непосредственной обработки естественного языка. На этих этапах происходит первичная формализация предложений входного текста, а затем – нормализация текста, то есть осуществляется разделение введенного текста на слова и остальные последовательности символов.

На этапе морфологического анализа определяются грамматические значения слов, такие как часть речи, род, число и т.д. На этапе синтаксического анализа определяется синтаксическая структура предложения.

Семантический модуль выполняет смысловую обработку текста, входные данные, полученные лингвистическим модулем. Данный вид обработки называется интерпретацией, поскольку моделью предметной области выполняется определение формального смысла отдельных единиц обработки текста. Эта процедура выполняется на этапе семантического анализа. На этапе межфразового семантического анализа производится объединение семантических представлений отдельных предложений в единую семантическую сеть, описывающую смысл всего текста.

Синтактико-семантический подход к извлечению знаний из текста на естественном языке опирается на лингвистическую модель. В него входят: лексико-грамматический анализ предложения, синтаксический анализ предложения, нахождение имен собственных в тексте и автоматическое реферирование.

Задача лексико-грамматического анализа – автоматически распознать, какой части речи принадлежит каждое слово в тексте. Эта область анализа достаточно развита, в ней разработаны эффективные алгоритмы, присваивающие каждому слову в тексте наиболее вероятный для данного слова лексико-грамматический класс (часть речи). Для улучшения точности лексико-грамматического анализа используются два типа алгоритмов: вероятностно-статистические и основанные на продукционных правилах, оперирующих словами и кодами [10].

В отличие от лексико-грамматического анализа текста, синтаксический анализ – развивающаяся область прикладной лингвистики. Цель синтаксического анализа – автоматическое построение функционального дерева фразы, т.е. нахождение взаимозависимостей между разноуровневыми элементами предложения [11]. Существует большое количество различных подходов к синтаксическому анализу текстов.

Синтактико-семантический анализ текста позволяет сформировать также содержательный портрет документа, выделив его ключевые понятия и ранжировав их по значимости в документе.

В соответствии с лингвистической моделью основу семантической структуры высказывания представляет так называемый пропозициональный компонент плана содержания. Этот компонент отражает внеязыковую ситуацию, описываемую предложением, и характеризует его объективное содержание. Например, несмотря на различия в значении следующих предложений: *Компания реорганизуется. Если бы компания реорганизовалась! Разве компания реорганизуется? Реорганизовалась ли компания? Необходимо реорганизовать компанию*, все они содержат общий пропозициональный компонент плана содержания – описывают ситуацию реорганизации компании.

Таким образом, синтактико-семантический подход к извлечению знаний предполагает выделение из структуры фразы ее семантического ядра – объективного описания ситуации и абстрагирование от несущественных, субъективных компонентов плана содержания. С этой целью используется синтаксический анализатор текста, работающий на основании знания общих правил грамматики языка, а также словарь моделей управления, который описывает для каждого предиката способы выражения в языке его аргументов (предлоги и падежи актантов).

Синтактико-семантический анализ текста позволяет сформировать также содержательный портрет документа, выделив его ключевые понятия и ранжировав их по значимости в документе. Эта информация, наряду со статистикой употребления и прочими факторами, позволяет выделить ключевые элементы текста для сравнения документов при поиске и классификации.

Использование лингвистических средств пока сравнительно небольшое, хотя это направление постоянно развивается.

Третье направление – *классификаторы, использующие методы искусственного интеллекта*, не только динамично развивается, но и включает в себя как методы искусственного интеллекта в чистом виде, так и их совмещение друг с другом, а также интеграцию с лингвистическими и статистическими методами, что делает их наиболее эффективным.

Из методов искусственного интеллекта для решения данной проблемы применялись нейронные сети, семантические сети, экспертные системы. Нейронные сети используются для решения таких задач, как распознавание, классификация, кластеризация. Семантические сети эффективны не только с точки зрения классификации и реферирования, но и выделения смысла текста и зачастую опираются на лингвистический аппарат.

Из методов искусственного интеллекта рассмотрим более подробно применение **искусственных нейронных сетей для решения задачи автоматической классификации**. В настоящее время это направление активно развивается, что дает возможности использования вычислений в сферах, до этого относящихся лишь к области человеческого интеллекта.

Использование ассоциативных нейронных сетей позволяет выявлять неявные, побочные признаки, и в целом их эффективность для задач классификации очень высока, однако существует и ряд недостатков, усложняющих их применение.

Ассоциативная нейронная сеть представляет собой структуру, состоящую из узлов – искусственных нейронов, чаще всего связанных послойно таким образом, чтобы какой-то сигнал (вектор или массив, размерность которого равна числу входных нейронов), подаваемый на входной слой, был преобразован в выходной слой (выходной сигнал), который представляет собой решение задачи. Каждая связь имеет вес, а узел – функцию активации. Текущие архитектуры нейронных сетей достаточно разнообразны, как разнообразны и способы преобразования.

Важным моментом является то, что нейронные сети приспособлены обрабатывать только информацию, представленную числовыми векторами, поэтому для их применения в обработке обычных документов на естественном языке, тексты необходимо представлять в векторном виде. Для решения этой проблемы используются [5] словари терминов, полиграммные модели, модели «терм – документ», а также ряд других методов. Естественно, что правильность представления текста играет важную роль для автоматической текстовой классификации.

Необходимо, чтобы классифицируемые объекты были представлены в виде последовательностей чисел одинакового размера и одинакового формата. Эти последовательности называются векторами признаков. Искусственная нейронная сеть с несколькими входами и выходами выполняет некоторое преобразование входных сигналов-стимулов в выходные. Ассоциативная нейронная сеть определена на пространстве признаков и опе-

рирует с множествами их значений. Существуют определенные ограничения для работы сети в силу высокой размерности пространства и сложности вычислений на нем.

Описания классов, как правило, представляют собой многомерные вектора действительных чисел, заложенные в синаптических весах искусственных нейронов, а процедура классификации характеризуется способом приведения анализируемого текста к аналогичному вектору, видом функции активации нейронов, а также топологией сети.

Множество всех таких векторов также формирует векторное пространство, называемое *пространством состояний* W . Задание вектора в пространстве состояний полностью определяет все синаптические веса и, тем самым, состояние сети.

Процесс обучения классификатора в данном случае совпадает с процедурой обучения сети и зависит от выбранной топологии.

Состояние, при котором нейронная сеть выполняет требуемую функцию, называют *обученным состоянием* сети W^* . Обучение нейронной сети состоит в приведении всех векторов стимулов из обучающей выборки требуемым реакциям путем выбора весовых коэффициентов нейронов. Задача обучения формально эквивалентна построению процесса перехода в конфигурационном пространстве от некоторого произвольного состояния W^0 к обученному состоянию [12]:

$$W^* \rightarrow W^0. \quad (4)$$

Требуемая функция однозначно описывается путем задания соответствия каждому *входному* вектору признакового пространства X некоторого вектора из признакового пространства Y , сформированного *выходными* векторами.

В случае автоматической классификации выходное признаковое пространство представляет собой перечень нескольких групп данных, и задачей нейронной сети является отнесение входных векторов к одной из этих групп.

В отображении на нейронной сети теряется информация о природе объектов, которые она исследует, настолько она становится сложна уже при небольшом количестве нейронов. Также необходимо отметить большую значимость процесса обучения, важность обучающей выборки, от корректности которой во многом зависит то, насколько эффективно будет работать сеть. Из-за множества влияющих факторов и отсутствия обобщенных закономерностей обучение и настройка параметров сети производятся эмпирически.

Также недостатком нейронных сетей в контексте решения задачи автоматической классификации и извлечения смысла можно считать то, что они не учитывают лингвистических данных, рассматривая слова и тексты как формальные последовательности знаков.

Однако, как было отмечено выше, наиболее интересными и эффективными решениями в данной сфере являются специально разработанные модели, использующие средства искусственного интеллекта, где за основу взяты модели естественного мышления и принципы работы человеческого мозга, и совмещающие их с традиционными подходами к классификации.

Ассоциативно-статистический подход [13] является примером такого совмещения. Он основан на использовании принципа работы правого полушария человеческого мозга. В отличие от левополушарной модели, соответствующей логическому мышлению, основанному на манипулировании формализованными знаниями и правилами их преобразования, он опирается на механизмы ассоциативной статистической обработки.

Подобным образом обучаются живые организмы, развивая ассоциации между связанными событиями и закрепляя рефлексы путем повторений.

Отбираются ключевые понятия, на основе проведенного статистического анализа, выделяя повторяющиеся фрагменты информации. Далее формируется ассоциативная семантическая сеть – комплекс связей между понятиями, увязывающий их в модель, где каждый элемент обретает собственный смысл через связи с другими. Появление связей – результат статистического подсчета, частотного анализа понятий в тексте и их комбинаций друг с другом. Локальные фрагменты ассоциативной сети, слабо связанные с другими, отбрасываются как случайные, другие сильнее увязываются между собой, выявляются новые связи. В основе процедур, используемых для анализа документов, лежит представление смысла текста в форме ассоциативной семантической сети.

В данном контексте *семантическая сеть* – это множество понятий (слов и словосочетаний), связанных между собой. В семантическую сеть включаются наиболее часто встречающиеся слова текста, которые несут основную смысловую нагрузку. Для каждого понятия формируется набор ассоциативных (смысловых) связей, т.е. список других понятий, в сочетании с которыми оно встречалось в предложениях текста. При этом считается, что чем чаще встречаются вместе два понятия в предложениях текста, тем выше вероятность того, что они связаны по смыслу.

Статистические данные о связях понятий в тексте, их распределении позволяют оценить их вклад в общее содержание текста и, таким образом, ранжировать темы по информативности. В итоге каждой теме семантической сети присваивается так называемый тематический вес. Максимальное значение тематического веса (равное 100) соответствует ключевой (важнейшей) теме текста. Близкое к нулю значение веса темы показывает, что она лишь вскользь упомянута в тексте, и в нем мало сведений, относящихся к данной теме. Связи между парами тем, в свою очередь, также имеют

характеристики – веса связей (от 0 до 100). Большое значение веса связи от одной темы к другой, близкое к 100, указывает на то, что подавляющая часть информации в тексте, касающаяся первой, касается в то же время и второй темы – первая тема почти всегда излагается в контексте второй. Малое значение веса отражает тот факт, что первая тема слабо связана со второй (излагается независимо от нее). Связь между парой тем сети всегда двусторонняя, однако связь от первой темы ко второй не всегда имеет тот же самый вес, что и обратная – от второй к первой. Такое различие в весах может указывать на то, что одна тема является подтемой другой.

При анализе текста можно воспользоваться семантической сетью, построенной на базе других текстов (эталонных). Сравнение семантических сетей различных текстов позволяет установить степень их смысловой близости, что используется для автоматической классификации документов по заданным рубрикам, поиска документов по подобию заданному тексту, а также кластеризации информационного массива на классы документов близкого содержания.

В настоящее время также активно разрабатываются гибридные модели нейронных сетей, направленные на преодоление проблемных моментов, отмеченных выше. Так, в работах [15–19] делается попытка отойти от классификации на нейронных сетях, как работы с признаками и упростить трудоемкий процесс обучения нейронной сети путем введения семантических связей.

Библиографический список

1. Березкин, Д.В. Автоматическая классификация текстовых документов использованием нейросетевых алгоритмов и семантического анализа [Текст] / Д.В. Березкин, А.М. Андреев, В.В. Морозов, К.В. Симаков. // Мир ПК. – 2007, № 9 – стр. 56 – 64.
2. Magerman, D.M. Natural Language Parsing as Statistical Pattern Recognition / D.M. Magerman // A dissertation submitted to the department of computer science at the committee on graduate studies of Stanford University, 1994. // Опубликовано на сервере www.xxx.lang.gov/cmp.lg.6
3. Мерков, А.Б. О статистическом обучении [Текст] / А.Б. Мерков // Компьютерная хроника. – 2006. – № 1.
4. Yang, Liu X. A re-examination of text categorization methods / Y. Yang, X. Liu // Proc. Of Int. ACM Conference on Research and Development in Information Retrieval (SIGIR–99), 1999. – pp. 42–49.
5. Солтон, Дж. Динамические библиотечно-поисковые системы [Текст] / Дж. Солтон. – М. : Мир, 1979.

6. Greene, W. *Econometric Analysis* / W. Greene // Prentice Hall. – 1997.
7. Леонтьева, Н.Н. К теории автоматического понимания естественных текстов [Текст]. Ч. 2. Семантические словари: состав, структура, методика создания / Н.Н. Леонтьева. – М. : Изд-во МГУ, 2001.
8. Леонтьева, Н.Н. К теории автоматического понимания естественных текстов [Текст]. Ч. 3. Семантический компонент. Локальный семантический анализ / Н.Н. Леонтьева. – М. : Изд-во МГУ, 2002.
9. Linda Van Guilder. *Automated Part of Speech Tagging* / Linda Van Guilder // A Brief Overview (Handout for LING361, Fall 1995 Georgetown University) – Georgetown University, 1995.
10. Ермаков, А.Е. Синтаксический разбор в системах статистического анализа текста [Текст] / А.Е. Ермаков, В.В. Плешко // Информационные технологии. – 2002. – № 7.
11. Круглов, В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика [Текст] / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – 2-е изд., стер. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с. : ил.
12. Ермаков, А.Е., Ассоциативная модель порождения текста в задаче классификации [Текст] / А.Е. Ермаков, В.В. Плешко // Информационные технологии. – 2000. – № 12.
13. Михайлян, А. Некоторые методы автоматического анализа естественного языка, используемые в промышленных продуктах [Текст] / А. Михайлян // Перспективные технологии автоматизации : тезисы докладов международной электронной научно-технической конференции. – Вологда : ВоГТУ, 1999. – С. 75–99.
14. Мешкова, Е.В. Применение семантических сетей на начальном этапе обучения ассоциативных нейронных сетей [Текст] / Е.В. Мешкова, В.Е. Мешков // Анализ и синтез как методы научного познания : материалы Междунар. науч. конф. – Таганрог : ТРТУ, 2004. – Ч. 3. – 76 с.
15. Мешкова, Е.В. Построение гибридной модели на основе семантической и ассоциативной сетевых парадигм [Текст] / Е.В. Мешкова, В.Е. Мешков // Радиоэлектроника, телекоммуникации, информационные технологии : межвуз. сб. науч. трудов ; редкол. : Н.Н. Прокопенко [и др.]. – Шахты : Изд-во ЮРГУЭС, 2004. – 119 с.
16. Мешкова, Е.В. Методика построения классификатора текста на основе гибридной нейросетевой модели [Текст] / Е.В. Мешкова // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Интеллектуальные САПР». – Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ. – 2008. – № 4 (81). – 268 с.
17. Мешкова, Е.В. Разработка гибридной нейросетевой модели для автоматической классификации текста [Текст] / Е.В. Мешкова // Информационные системы и технологии. Теория и практика : сб. науч. трудов ; под ред. А.Н. Береза. – Шахты : Изд-во ЮРГУЭС, 2008. – 188 с.

УДК 004.2

Бабкина Т.А., Мешков В.Е.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕЧЕТКИХ ЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье проводится сравнение и анализ основных операций различных систем нечетких логик. В частности, двузначной логики, трехзначной логики Лукасевича, трехзначной логики Шестакова, n -значной логики Россета, ∞ -значной логики Мак-Натона, семимерной логики Короткова и т.п. по критериям: границы множества, центр множества, высказывания. Целью исследования является попытка найти логический базис для построения новых элементов и узлов вычислительных систем

Введение. Современное состояние информационных систем и технологий характеризуется рядом проблем концептуального характера. Прежде всего, это настоятельная потребность резкого повышения производительности вычислительных систем, обусловленная следующими причинами:

- лавинообразный рост доступных распределенно электронных документов в глобальных сетях;
- высокая и постоянно растущая сложность больших систем, требующих новых подходов к моделированию (например, глобальные сети, социальные системы, глобальные экономические системы и т.д.).

Положение усугубляется отсутствием новых парадигм в области архитектуры вычислительных систем и логики представления и обработки данных [3].

На этом фоне растет число различных подходов к построению логических базисов, отличных от классического двоичного. С одной стороны, это говорит о насущной потребности построения новых логических систем, а с другой – большое количество и разнообразие логик и, как следствие, практических их применений, явно указывает на кризис в области построения систем обработки данных. Наблюдается явная тенденция специализации с учетом прикладных задач и областей применения. В тоже время актуальной становится задача выбора и-или построения нового универсума, способного в новых условиях заменить двоичную логику (и двоичную систему счисления).

Пожалуй, наиболее поразительным свойством человеческого интеллекта является способность принимать правильные решения в обстановке неполной и нечеткой информации. Построение моделей приближенных

рассуждений человека и использование их в компьютерных системах будущих поколений представляет сегодня одну из важнейших проблем науки.

Значительное продвижение в этом направлении сделано 30 лет тому назад профессором Калифорнийского университета (Беркли) Лотфи А. Заде (Lotfi A. Zadeh). Его работа «Fuzzy Sets», появившаяся в 1965 г. в журнале *Information and Control*, № 8, заложила основы моделирования интеллектуальной деятельности человека и явилась начальным толчком к развитию новой математической теории.

Что же предложил Заде? Во-первых, он расширил классическое канторовское понятие множества, допустив, что характеристическая функция (функция принадлежности элемента множеству) может принимать любые значения в интервале $(0;1)$, а не только значения 0 либо 1. Такие множества были названы им нечеткими (*fuzzy*). Л. Заде определил также ряд операций над нечеткими множествами и предложил обобщение известных методов логического вывода *modus ponens* и *modus tollens*.

Введя затем понятие лингвистической переменной и допустив, что в качестве ее значений (термов) выступают нечеткие множества, Л. Заде создал аппарат для описания процессов интеллектуальной деятельности, включая нечеткость и неопределенность выражений.

Первые применения нечетких систем управления состоялись в Европе, наиболее интенсивно внедряются такие системы в Японии. Спектр приложений их широк: от управления процессом отправления и остановки поезда метрополитена, управления грузовыми лифтами и доменной печью до вычислительных устройств, стиральных машин и СВЧ-печей. При этом нечеткие системы позволяют повысить качество продукции при уменьшении ресурсо- и энергозатрат и обеспечивают более высокую устойчивость к воздействию мешающих факторов по сравнению с традиционными системами автоматического управления.

Другими словами, новые подходы позволяют расширить сферу приложения систем автоматизации за пределы применимости классической теории.

Смещение центра исследований нечетких систем в сторону практических приложений привело к постановке целого ряда проблем таких, как новые архитектуры компьютеров для нечетких вычислений, элементная база нечетких компьютеров и контроллеров, инструментальные средства разработки, инженерные методы расчета и разработки нечетких систем управления и мн. др.

Анализ нечетких логических систем

Проанализируем подробно сравнительный анализ основных операций различных систем нечетких логик с точки зрения возможности по-

строения новых архитектурных решений в области вычислительных систем.

Со времени опубликования работ Заде в области нечетких логик появилось несколько принципиально различных, а также сходных между собой логических нечетких систем, в т.ч. двузначная логика, трехзначная логика Лукасевича, трехзначная логика Шестакова, n -значная логика Россета, ∞ -значная логика МакНатона, семимерная логика Короткова и т.п. И тут появляется еще один вопрос – какая логическая система является наиболее подходящей для решения конкретной задачи в области нечетких логик, например, в области построения вычислительных устройств.

Для этих целей проанализируем несколько существующих подходов к нечеткости по следующим критериям:

- 1) высказывания;
- 2) границы множества;
- 3) центр множества.

Результаты анализа представим таблично.

Результаты анализа

Логическая система	Высказывания	Границы множества	Центр множества
Двузначная логика	И – истина Л – ложно	$v = \mathcal{I}(И) = 1$ $a = \mathcal{I}(Л) = 0$	$c = 1/2$ не используется
Трехзначная (Лукасевич) 1920 г.	И – истина Л – ложно Н – неопределенно	$v = \mathcal{I}(И) = 1$ $a = \mathcal{I}(Л) = 0$	$c = \mathcal{I}(Н) = 1/2$
Трехзначная (Шестаков) 1960 г.	И – истина Л – ложно Н – неопределенно	$v = \mathcal{I}(И) = +1$ $a = \mathcal{I}(Л) = -1$	$c = \mathcal{I}(Н) = 0$
n -значная логика (Россет) 1945 г.	ПИ – истина ПЛ – ложно ($n-2$) – не ПИ, не ПЛ	$v = \mathcal{I}(ПИ) = 1$ $a = \mathcal{I}(ПЛ) = n$	$c = (1+n)/2$
∞ -значная логика (МакНатон) 1951 г.	ПИ – истина ПЛ – ложно ∞ – множество не (ПИ, ПЛ)	$v = \mathcal{I}(ПИ) = 1$ $a = \mathcal{I}(ПЛ) = 0$	$c = 1/2$
R_∞ -функция Рвачева 1953 г.	∞ – множество Не (ПИ, ПЛ)	$v = \infty$ $a = -\infty$	$c = 0$
R1-функция			
Семимерная логика (Коротков)	И – истина Л – ложно	$v = \mathcal{I}(И) = 1$ $a = \mathcal{I}(Л) = 0$	

Теперь определим и проанализируем для данных нечетких логик основные операции:

- 1) дизъюнкция;

- 2) конъюнкция;
3) отрицание.

Логическая система	Определение значений истинности (Дизъюнкция)	Определение значений истинности (Конъюнкция)	Определение значений истинности (Отрицание)
Двузначная логика	$\mathcal{I}(p \cup q) = \max[\mathcal{I}(p), \mathcal{I}(q)]$	$\mathcal{I}(p \cap q) = \min[\mathcal{I}(p), \mathcal{I}(q)]$	$\mathcal{I}(\neg p) = 1 - \mathcal{I}(p)$
Трехзначная (Лукаевич) 1920 г.	$\mathcal{I}(p \cup q) = \max[\mathcal{I}(p), \mathcal{I}(q)]$	$\mathcal{I}(p \cap q) = \min[\mathcal{I}(p), \mathcal{I}(q)]$	$\mathcal{I}(\neg p) = 1 - \mathcal{I}(p)$
Трехзначная (Шестаков) 1960 г.	$\mathcal{I}(p \cup q) = \max[\mathcal{I}(p), \mathcal{I}(q)]$	$\mathcal{I}(p \cap q) = \min[\mathcal{I}(p), \mathcal{I}(q)]$	$\mathcal{I}(\neg p) = -\mathcal{I}(p)$
n-значная логика (Россет) 1945 г.	$\mathcal{I}(p \cup q) = \max[\mathcal{I}(p), \mathcal{I}(q)]$	$\mathcal{I}(p \cap q) = \min[\mathcal{I}(p), \mathcal{I}(q)]$	$\mathcal{I}(\neg p) = n + 1 - \mathcal{I}(p)$
∞ -значная логика (МакНатон) 1951 г.	$\mathcal{I}(p \cup q) = \max[\mathcal{I}(p), \mathcal{I}(q)]$	$\mathcal{I}(p \cap q) = \min[\mathcal{I}(p), \mathcal{I}(q)]$	$\mathcal{I}(\neg p) = 1 - \mathcal{I}(p)$
R_∞ -функция Рвачева 1953 г.	$X \cup_\infty Y = 1/(1+\infty)[(X+Y) + \sqrt{X \cdot X + Y \cdot Y - 2\infty XY}]$ $-1 < [\infty(X, Y)] \leq +1$	$X \cap_\infty Y = 1/(1+\infty)[(X+Y) - \sqrt{X \cdot X + Y \cdot Y - 2\infty XY}]$ $-1 < [\infty(X, Y)] \leq +1$	$\neg X = -X$
R1-функция	$X \cup_1 Y = 0.5(X+Y + X-Y) \equiv \max(X, Y)$	$X \cap_1 Y = 0.5(X+Y - X-Y) \equiv \min(X, Y)$	$\neg X = -X$
Семимерная логика (Коротков)	$\mathcal{I}(p \cup q) = \max[\mathcal{I}(p), \mathcal{I}(q)]$	$p \oplus q = (p \cap \bar{q}) \cup (\bar{p} \cap q)$	$\mathcal{I}(\neg p) = 1 - \mathcal{I}(p)$

Семимерное пространство характеризуется тем, что все пространственные направления совершенно одинаковые, т.е. пространство изотропно по своим свойствам. В то же время мы имеем не только понятия векторов, но и понятия изменения векторов, положения хотя бы векторов в пространстве. Следовательно, нужно оценивать характер изменения этих положений векторов в пространстве – и это уже с необходимостью приводит к применению понятия времени как скалярной величины, по которой можно осуществлять дифференцирования векторных величин. Поэтому более верной концепцией, наверное, будет рассматривать не просто семимерное пространство, а восьмерное пространство – время.

Основное различие в определении значений истинности выявлено для конъюнкции.

А ведь в зависимости от того, какова процедура сложения и какова процедура умножения чисел, получаются те или иные значения, вернее свойства линейных векторных пространств. Рассмотрим данный аспект подробнее.

В булевой алгебре задействованы только два значения величин – нуль и один, и известны операции сложения и умножения.

Операция умножения двух дискретных величин Булевой алгебры определяется свойствами обычной операции умножения двух действительных.

А вот с операцией сложения двух булевых величин не все обстоит так гладко, потому что, хоть три первых значения нуль плюс нуль, нуль нуль плюс один, один плюс нуль есть один, а вот один плюс один есть один в булевой алгебре, и это не соответствует значениям действительных чисел, где сумма для единицы плюс единицы есть двойка, то есть совсем другое число, нежели единица. Возникает логическое противоречие.

Поэтому, в дополнение к булевой алгебре можно привести также другую алгебру – алгебру, получаемую на основе теории сравнения чисел по определенному модулю.

При этом если рассматривать алгебру в сравнении по модулю 2, то все числа, все целые числа разбиваются на два класса – класс целых четных чисел и класс целых нечетных чисел. Они имеют одно и то же значение остатка при делении на 2. Целые числа имеют остаток 0, нечетные числа, нецелые, а четные числа имеют остаток 0, а нечетные числа имеют остаток 1. То есть все целые числа разбиваются на два класса – класс целых четных чисел, класс ноль и класс нечетных чисел класс один.

Так вот, если посмотреть теории сравнений по модулю 2, расположить все числа, то умножение чисел определяется также обычной операцией умножения целых чисел. А вот со сложением дело обстоит иначе – если класс нуль четные числа, а класс один включает нечетные числа, то четное плюс четное есть четное, то есть ноль плюс ноль есть ноль, четное плюс нечетное, нуль плюс один и один плюс нуль есть один, потому что четное плюс нечетное есть нечетное число, а вот четное, вернее нечетное, плюс нечетное, то есть один плюс один есть всегда число четное, то есть нуль, то есть, это говорит о том, что один плюс один в этой алгебре есть нуль. В отличие от булевой алгебры, где один плюс один есть один. А это совсем другая процедура умножения и сложения, то есть это совсем другая

алгебра. Это уже не булева алгебра, это алгебра также над нулем и единицей, но совсем другими свойствами обладающая, что показано в таблице сравнительного анализа нечетких логик.

Аналогично, можно привести основные операции алгебры логики при сравнении чисел по модулю 3, 4 и т.д., описанные в статьях А.В. Короткова, В.С. Чуракова и В.Е. Мешкова.

Закключение. Одной из попыток построения вычислительных систем на новом архитектурном и вычислительном базисе была идея разработки параллельных и векторных компьютеров. В основе векторных компьютеров лежит концепция конвейеризации, т.е. явного сегментирования арифметического устройства на отдельные части, каждая из которых выполняет свою подзадачу для пары операндов [2]. В основе параллельного компьютера лежит идея использования для решения одной задачи нескольких процессоров, работающих сообща, причем процессоры могут быть как скалярными, так и векторными [2]. Гибридные схемы параллельных векторных компьютеров демонстрируют высокую производительность, и нашли применение для решения широкого класса задач. Однако открытым остается вопрос о соответствующей такому подходу математической и логической основе (и как следствие новой элементной базе).

Представляется вполне возможным построение нового аппаратного базиса на основе множественной небулевой семимерной алгебры А.В. Короткова [1].

Таким образом, исследование показывает, что для решения задачи построения вычислительных устройств на основе нечетких логик наиболее подходящей является семимерная логика, предложенная А.В. Коротковым, т.к. только ее применение может привести к открытию и построению принципиально новых микропроцессорных устройств, не известных ранее.

Библиографический список

1. Мешков, В.Е. Многомерная модель сознания на основе многомерных Булевой и не Булевой алгебр А.В. Короткова [Текст] / В.Е. Мешков, В.С. Чураков // Труды Междунар. конф. «Интеллектуальные системы» (AIS'08) и «Интеллектуальные САПР» (CAD 2008). В 4 т. Т. 2. – М. : Физматлит, 2008. – 400 с.
2. Цилькер, Б.Я. Организация ЭВМ и систем [Текст] / Б.Я. Цилькер, С.А. Орлов. – СПб. : Питер, 2004. – 668 с.
3. Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем [Текст] / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб. : Питер, 2001. – 384 с.

УДК 007.52

Мешков В.Е., Мешкова Е.В., Чураков В.С.

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ В ИСКУССТВЕННЫХ СИСТЕМАХ, В СИСТЕМОТЕХНИКЕ И ТЕМПОРАЛЬНОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АНОМАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

В статье рассматриваются представления времени в искусственных системах, в системотехнике и темпоральность электронных элементов в аномальных режимах работы – показывается их специфика.

Данная статья является синтезом и развитием трех наших ранее опубликованных работ [10; 11; 12], посвященных заявленным в заглавии вопросам.

В словаре-справочнике «Естествознание» про искусственный интеллект (ИИ) сказано, что ИИ – «метафорическое название комплексного научного направления, которое объединяет математиков, лингвистов, психологов, инженеров и ставит своей целью создание программно-аппаратных средств ЭВМ, позволяющих: 1) имитировать на ЭВМ отдельные элементы творческого процесса; 2) автоматизировать целенаправленное поведение роботов; 3) обеспечивать диалоговое общение пользователей с ЭВМ на языке их предметной области, особенно с появлением ЭВМ 5-го поколения и широким распространением персональных *компьютеров*; создавать системы, работа которых опирается на знания, формируемые экспертами» [4, с. 133–134].

В искусственном интеллекте (ИИ) есть два основных направления: одно можно назвать «направлением черного ящика», а второе направление пытается моделировать размышления, рассуждения человека, т.е. его мыслительную деятельность (также предпринимаются попытки моделировать поведение живых организмов и использовать его в системах ИИ [14; 23].

В первом случае мы, как правило, имеем какие-то математические модели технических объектов, которые связаны с временем напрямую (для достижения целей управления, как правило, необходимо решать системы дифференциальных уравнений, в которых время выступает как независимая переменная). А вот во втором случае очень многое зависит от тех концепций (философских, религиозных, научных представлений о мире и о человеке), которые берутся в основу моделирования рассуждений [16; 17; 22; 24]. То есть в данном случае имеют большое значение теоретическое знание и система мира – научная картина мира (подробнее см. [19; 20]). Следовательно, в этом случае многое зависит от того, учитывается ли время как таковое в рассуждениях (например, нейронные сети). Можно рассматривать реакции нейронов на передачу возбуждающих воздействий как функции времени. Но, как правило, они рассматриваются только с логиче-

ской точки зрения, т.е. прохождения сигнала, возбуждения нейрона, определяет активационная функция, которая не является функцией времени, а является пороговой функцией, зависящей от входного воздействия.

Во втором случае нас интересует, в каком виде учитывается или не учитывается время в тех моделях и в тех попытках повторить рассуждения человека, которые в настоящий момент существуют [1; 5; 9; 15; 21]. Если взять модели на основе различных логик, включая и двоичную логику, как начало, и нечеткие логики, и вероятностные логики, и онтологии, как таковые, то в этом случае время присутствует в качестве, скажем, проявления причинно-следственной связи, прежде всего, но не как независимый аргумент, влияющий на моделирование и рассуждение. Если мы посмотрим на попытки моделировать искусственные системы с помощью эволюционных методов (например, генетических алгоритмов), то опять увидим, что здесь нас прежде всего интересует число генераций (число поколений, которые сменяются), сходимость алгоритмов, но больше с точки зрения вычислительной сложности и вычислительных мощностей, которые затрачиваются на эти решения, чем с точки зрения времени как некой, скажем, метрической единицы (измеряемой единицы). Опять мы здесь видим именно смену поколений, именно накопление поколений, но не время, как независимый аргумент. Если мы будем рассматривать те модели, которые связаны, скажем, с ассоциативными нейронными сетями, то здесь мы время в явном виде также не просматриваем.

Мы просматриваем именно наличие каких-то ассоциативных реакций (например, описание сущности, нахождение сущности). Во всех задачах на первое место ставится результат распознавания, результат классификации, результат принятия решения. А время как именно опять же, метрический параметр, отодвигается на второй план. Но исключения составляют те системы, в которых время существенно, с точки зрения технологических, например, процессов. Это диспетчерские системы, системы управления газотрубопроводами и т.д., т.е. системы так называемого *реального времени*. А здесь время проявляется более четко, потому что реакция системы должна быть быстрее, чем изменения параметров и характеристик управляемого объекта.

Значит, существенным является следующее. **Время метрично** и учитывается, т.е. системы становятся *темпоральными* в том случае, если мы рассматриваем такие их аспекты, как *обучение, самообучение, саморазвитие, размножение, самосовершенствование*. Тогда время является четким критерием накопления опыта, накопления эвристик, формирования новых правил, знаний, аксиом об окружающем мире, об окружающей среде в частном случае. В этом смысле время проявляется как некая физическая величина, весьма важная для оценки моделей, положенных в основу развивающихся систем.

То есть когда идет сравнение именно моделей развивающихся, обучающихся систем, тогда время является и измеряемой и существенной характеристикой. С другой стороны, очень трудно как-то численно и даже на качественном уровне сравнить степень самосовершенствования системы, степень ее развития (искусственной системы, прежде всего). В этом смысле можно рассматривать адекватность реакции различных систем, а затем рассматривать время, затраченное каждой системой – т.е. как следствие каждой из выбранных моделей – на достижение данного уровня.

Итак, именно для второго подхода время можно рассматривать как некий критерий развития систем и, как следствие, как некий критерий, который позволит сравнить те концепции, которые положены в основу построения искусственных систем, т.е. идет перенос человеческих представлений о времени, в представление об искусственных системах [5]. И в этом случае, может быть, можно будет численно сравнить разные модели и разные подходы к построению систем, моделирующих рассуждения человека. Хотя эта оценка, достаточно относительная, потому что многое определяется, конечно, затраченными мощностями, машинным временем, положенным в моделирование и обучение. Тем не менее, появляется некая объективная оценка, измеряемая оценка, которую можно было бы использовать. И кажется, что именно с этой точки зрения время в таких системах становится существенным фактором. Можно говорить о линейности или нелинейности времени для этих систем в смысле того, что затраты времени на обучение, самосовершенствование могут не подчиняться линейным законам. Как правило, все алгоритмы являются так называемыми NP (эн-пи) полными или NP (эн-пи) неполными, т.е. несут полиномиальную зависимость (экспоненциальную, следует сказать, зависимость) от исходных данных задачи, т.е. вырастание исходных данных для принятия решений, для рассуждений – в экспоненциальной зависимости увеличиваются затраты времени на моделирование и, как следствие, на обучение. Следовательно, в этом смысле для таких систем время является нелинейным по отношению к их жизненному циклу.

Работает ли здесь причинно-следственная связь? Как правило, *такие системы обладают интерактивностью, т.е. некими петлями обратной связи*, когда результаты влияют на дальнейший процесс обучения. Это можно назвать учетом опыта, а можно рассматривать с высказанной точки зрения как временные возвраты назад. И в этом смысле можно оторваться от причинно-следственной связи. Но линейность времени для таких систем – крайне редкое явление. И, скорее всего, время становится нелинейным именно для искусственных систем. Как следствие – гипотеза: возможно, что и для человека, время является не только линейным, но и нелинейным в каких-то ситуациях и в каких-то смыслах.

С точки зрения искусственных систем следует рассмотреть два этапа: первое – это нахождение и обучение с точки зрения главной функции системы, например, системы управления, т.е. поиск этой функции, настройка на эту функцию, обучение, возможность воспользоваться данной функцией (это по существу определение функции). Хотя – надо помнить всегда о некоей цели – для чего все это функционирование? И это один временной поток. А затем, когда происходит освоение функции, идет процесс (это тавтология) функционирования на основе определенной функции, но с учетом, скорее всего, цели – главной какой-то цели – и здесь тоже очень многое зависит (это второй временной поток, а поток описывается функцией) от концептуального видения мира, может быть даже эзотерического видения мира (это тоже имеет место: см. [16; 22; 24]).

А что же является целью? Здесь мы приходим к чисто философским вопросам: а что является целью человека как сущности, разумной сущности? И что является целью искусственной системы? И как цель коррелируется с функцией? Что на что влияет? Цель на функцию или функция на цель? (Можно предположить, что, скорее всего, цель влияет на функцию или иначе она бы не возродилась – система к ней не пришла бы). Поэтому можно сказать, что вначале возникает для искусственной системы цель, потом идет поток (функция) обучения и освоения функции, а затем, собственно, функционирование.

Можно еще рассматривать гибель системы или утилизацию ее по достижении цели, или по неким другим причинам. Когда цель утрачивает свою актуальность, тогда система, по идее, разрушается. Это еще один временной поток (еще одна функция). Куда девается время после этого для искусственной системы? Вот вопрос (в философском плане – это вопрос о смерти). Отсюда вопрос следующий: получается, что время достаточно субъективно даже с точки зрения искусственной системы, т.е. время – это внутренняя сущность системы, присущая именно ей. Как она коррелирует с временем «вообще»? Сложный вопрос. Скорее всего (в данном случае) – это взаимодействие систем и взаимодействие их функционирования.

Как следствие, временные потоки, скорее всего, могут быть усреднены, могут быть взаимосвязаны, но вывести отсюда единое время можно только в рамках единой системы, а вне ее – могут существовать другие временные потоки.

Теперь – о пространстве и времени, т.е. трехмерном пространстве (3D) и координате время. Если рассматривать системы динамически, т.е. в развитии во времени, то мы можем рассматривать пространственно-временной континуум, в котором происходит изменение пространства как такового. И если мы рассматриваем именно движение какой-то цели, т.е. действие, по сути, по сущности (развития сущности) – то вот формирование, становление сущности – это и есть время формирования, или ста-

новления. После того как сущность овладела своим основным назначением, своей основной функцией, то скорее всего пространство так радикально не меняется, и время может становиться линейным.

Время в системотехнике

В словаре-справочнике «Естествознание» система определяется следующим образом: «**СИСТЕМА** (греч. Systema – целое; составленное из частей; соединение) – общенаучное понятие, выражающее совокупность *элементов*, которые находятся в *отношениях* и связях друг с другом и со средой и образуют определенную целостность, единство; обязательно имеет *структуру* и *организацию*» [4, с. 310], а **СИСТЕМОТЕХНИКА** определяется как «...комплексная научно-техническая дисциплина, исследующая сложные технические системы и их проектирование; включает деятельность по созданию, использованию и развитию таких систем (выделившуюся из традиционной инженерной деятельности) и область знания о принципах, методах и средствах анализа и организации этой деятельности» [4, с. 312].

В естественных науках изучением свойств времени в основном занимается физика. «Физика – лидер современного естествознания, в ней впервые сформулированы научные теории пространства и времени, она достигла той степени зрелости, когда дальнейшее развитие многих ее теорий оказывается тесно связанным с критическим переосмыслением основных понятий, в число которых входит и время. Немаловажно и то, что физический уровень организации материи генетически и исторически является более фундаментальным, нежели биологический и социальный. Неудивительно поэтому, что исследование особенностей временных отношений в физических системах предшествовало познанию биологического и социального времени», – пишет Г.Г. Сучкова о специфической трудности изучения феномена времени [21, с. 9–10].

С.М. Коротаев, давно и результативно изучающий феномен времени на эмпирическом и теоретическом уровнях, полагает, что в моделях времени неклассической физики «время ... можно выразить через другие первичные понятия и по-разному в разных областях. И поэтому можно, как минимум, построить теории изменчивости, наиболее естественные для различных объектов исследования, а как максимум – действительно понять природу времени и даже искать пути к воздействию на него. Кроме того, отход от классической концепции почти неизбежно ведет к предсказанию новых эффектов, на первый взгляд не связанных с проблемой времени» [7, с. 53]. В этом аспекте философия солидарна с физикой, поскольку «исконно гносеологический вопрос о времени всегда был связан с изучением его природы» [21, с. 14]?

Физические модели времени (в основном континуума «пространство-время») в науке считаются за эталон, на их основе предпринимаются попытки моделировать время в других областях научного знания. В системотехнике также используются достижения физики в изучении времени, и на их основе выстраиваются собственные темпоральные представления. Но гносеологические позиции у физики и системотехники разные: физика стремится к тому, чтобы все было связано со всем, это направление поиска истины, в результате которого получен принципиально новый тип моделирования – моделирование феномена времени. А системотехника исходит из того, что в системе все связано со всем, это закон [2; 6]. Системотехника в большей степени, чем теоретическая физика, связана с практикой, поскольку «как новый раздел научно-технического знания и инженерной деятельности, системотехника сложилась в результате усложнения самого процесса проектирования, необходимости его рациональной и научной организации; основная задача системотехники – повышение эффективности инженерного труда» [4, с. 312–313].

Время в системотехнике – это не только раздел настоящей статьи, но и другой подход к проблеме времени в управлении, а именно в *управлении временем системы*.

Если мы будем рассматривать представления времени на основе основных задач системотехники (т.е. построения систем), то систему можно рассматривать с точки зрения ее жизненного цикла – от создания системы до ее разрушения или утилизации.

Жизненный цикл системы включает в себя несколько этапов. В данной работе мы не будем подробно рассматривать все циклы проектирования, поскольку терминология в данной области еще не устоялась, но, по крайней мере, в процессе проектирования системы присутствуют следующие этапы: синтез, анализ и конструирование на различных уровнях абстрагирования системы, начиная с концептуального построения. С этой точки зрения, каждый такой внутренний цикл обладает своей внутренней частотой и, как правило, своим внутренним временем (обычно линейным). В целом же период развития системы (ее жизненный цикл) характеризуется неким нелинейным (иногда модулированным), имеющим точки разрыва, временем.

Наиболее интересными для исследования нам представляются именно точки перехода от одного этапа развития системы к другому. В этот момент в системе протекает переходный процесс, характеризующийся параметрами системы как функциями времени, и одновременно – длительность этих процессов (время) зависит от внутренних свойств и структуры системы и, как следствие, является функционалом от этих параметров. И тогда непонятно, что рассматривать в качестве независимой переменной для времени? И возможны ли некие разрывы во временном потоке (функ-

ции) с точки зрения жизненного цикла системы, когда осуществляется действительно переход? Эти точки требуют еще изучения, но возможно, что время в этот момент является некой функцией от некой другой независимой переменной, которой может быть, например, мощность мыслительной деятельности коллектива, работающего над системой, либо некие другие какие-то критерии, которые влияют на время, как на некую функцию.

Что же касается слов С.М. Коротаева о том, что открывается возможность «действительно понять природу времени и даже искать пути к воздействию на него» [7, с. 53], то здесь имеется в виду так называемое «управление временем». Проанализируем этот перспективный аспект, заложенный в неклассических моделях времени, с философской точки зрения, поскольку в математическом аспекте под управлением понимается решение уравнения. В неклассических моделях времени представлены оба эти аспекта.

Существуют категории: целое – часть, общее – частное. Вопрос управления временем может (и должен) быть рассмотрен с этих позиций. Время есть наиболее общая философская абстракция, поэтому управлять абстракцией невозможно: это – категория общего. Необходимо определиться с выделением частного для решения этой проблемы. По нашему мнению, это может быть конкретное понимание системы: физической, технической, биологической, экономической и т.д. То есть управление временем может (и должно) определяться относительно этих систем. В этом случае может быть много определений понятия управления временем, отдельных (особых) для каждой конкретной системы. Из вышесказанного можно дать следующее определение понятия «управление временем».

Управление временем системы есть перевод фактического состояния отобранных нами параметров, характеризующих время конкретной системы (скорость, скорость протекания процессов, множество событий, направленность и т.д.), в желаемое состояние. Таким образом, управление временем может осуществляться через некое воздействие на эти параметры конкретной системы. (Поскольку «само существование времени, и все его свойства зависят от изменений, происходящих в конкретных материальных объектах, процессах» [9, с. 47].)

Этим целям и могут служить неклассические модели времени – располагая знанием о действительном, стремиться завладеть знаниями о возможном, а это и открывает возможность к разработке и практическому применению специфических системотехнических технологий (технологий, в которых используются темпоральные знания неклассических моделей времени) к каждому конкретному случаю или, иными словами, открывается возможность располагать сущим посредством приобретенных знаний о времени. В этом-то и заключается инновационность и эвристичность применения новых темпоральных знаний в системотехнике для практиче-

ской сферы, поскольку системное время может быть изменено [17, с. 212]. Последние годы, ознаменованные радикальными переменами в культуре, в сознании, открытиями в современной физике, в том числе «переоткрытием» времени, требуют осмысления новых представлений о времени, инициируют саму рефлексию времени.

Темпоральность радиоэлектронных элементов в аномальных режимах работы

В философском словаре «Современная западная философия» о понятии «темпоральность» сказано следующее: «**ТЕМПОРАЛЬНОСТЬ** (от англ. temporal – временные особенности) – временная сущность явлений, порожденная динамикой их собственного движения, в отличие от тех временных характеристик, которые определяются отношением движения данного явления к историческим, астрономическим, биологическим, физическим и другим временным координатам. В современную философскую культуру понятие темпоральность вошло через экзистенциалистскую традицию, в которой темпоральность человеческого бытия противопоставляется внешнему, отчужденному, бескачественному, навязываемому и подавляющему времени. В феноменологически ориентированной социологии, а также в психологии и культурологии, понятие темпоральность широко используется для описания таких динамичных объектов, как личность, социальная группа, класс, общество, ценность («полные социальные явления» Д. Гурвича). Идея анализа взаимодействия движущихся социальных явлений через сопоставление их темпоральности легла в основу методологии темпорального анализа» [18, с. 298].

Понятие темпоральности получило широкое распространение не только в социогуманитарных и когнитивных науках, но и в науках естественных и технических. В науках естественных этот термин несет дополнительную, математическую смысловую нагрузку: выражает специфические временные отношения изучаемого объекта [15]. В нашем случае темпоральность означает, как сказано вначале определения, данного в философском словаре, «временную сущность явлений, порожденную динамикой их собственного движения, в отличие от тех временных характеристик, которые определяются отношением движения данного явления к историческим, астрономическим, биологическим, физическим и другим временным координатам» [18, с. 298], поскольку переходные процессы в теоретической электротехнике во временном отношении считаются длящимися неограниченно долго, так как напряжение и сила тока в электрической цепи после коммутации приближаются к конечному (установившемуся) значению асимптотически. (Заметим в скобках: для адекватного описания радиотехнических, радиоэлектронных и электрических устройств в аномальных режимах работы больше всего подходит семимерная алгебра А.В. Короткова [8].)

Поскольку аномалия – это отклонение от нормы, закономерностей и общепринятых установлений, то в нашем случае, под аномальными, прежде всего, следует рассматривать переходные процессы в радиоэлектронных системах. Как правило, они носят нелинейный характер с точки зрения изменения параметров системы и, очевидно, являются функциями времени. Если рассматривать именно достижение установившегося значения системы после переходного процесса, то время можно рассматривать как линейное. Но если рассматривать изменение параметров системы в процессе перехода, то здесь наблюдаются нелинейные зависимости – как правило, это экспоненциальные или колебательные зависимости – и время с этой точки зрения нелинейное.

Мы приходим к тому, что в зависимости от того, с какой точки зрения мы смотрим на радиоэлектронную систему, мы можем рассматривать время как в линейной, так и в нелинейной областях. Возможны даже некие разрывы во времени, например, при разрушении системы вследствие переходного процесса. Следует также отметить собственно темпоральную особенность аномального режима: в нем просматривается аналогия с представлением в Восточной медицине об особых энергоинформационных каналах на теле человека, которых по данным современной клинической медицины и физиологии в реальности нет. То есть они существуют виртуально, а при воздействии на точки акупунктуры выполняют свою функцию, поскольку «система каналов тела обладает ярко выраженной функциональной направленностью» [13, с. 53] (таким образом, они диалектически сочетают в себе возможность и действительность, но ведь «диалектика категорий «возможность» и «действительность» имеет существенное значение для характеристики времени», – замечает Я.Ф. Аскин [1, с. 78]).

В философии аномальному режиму работы радиоэлектронного элемента (и в особенности – темпоральному аспекту) можно соотнести **квазиобъект**, особенность которого заключается в том, что «в отличие от “объекта”, неоднозначность, “размытость” квазиобъекта проявляется не только во взаимодействии с другими объектами, но задана изначально, на экзистенциальном уровне» [3, с. 155]. Автор этого, на наш взгляд, удачного термина – С.А. Евстратов – следующим образом дает определение и описывает квазиобъект: «Опираясь на принципы эвристичности, традиционно присущие отечественной натурфилософской методологии, предложим следующее определение:

Квазиобъект есть философская категория для обозначения тех процессов, которые лишь частично могут быть проинтерпретированы в онтологическом базисе антропоморфного генеза.

Это означает, что экзистенциальный статус квазиобъектов относителен: он определяется пороговым перцепционным уровнем антропогенных средств наблюдения и уровнем антропоморфных интеллектуальных техно-

логий интерпретации информации, доставленной указанными средствами наблюдения. Разумеется, данное определение является мягким предварительным, интуитивным и подлежит экспликации по мере развития соответствующих аксиоматических (потенциомических) философских и операциональной систем, базирующихся на представлениях об экзистенциальных процессах.

Есть основания предполагать, что с точки зрения перспектив формализации описания квазиобъектных свойств должно быть фундаментальное топологическое отличие в организации «объектов» (традиционно трактуемых в «монадном» ключе как нечто, обладающее односвязной топологией) и квазиобъектов, топология которых, по-видимому, неодносвязна.

Квазиобъекты занимают некоторое, условно говоря, промежуточное место между феноменами и ноуменами; для описания их свойств, по-видимому, вполне можно пользоваться категориальной системой диамата как наиболее операционноспособной; при этом квазиобъект может быть использован как комплементарный конструктор, добавляемый как к кантовской, так и к гегелевской категориальным системам. В этом смысле он квазинезависим от понятий «субъект» и «объект» (так же как от понятия абсолютная идея», для которого он даже может быть использован в виде «ноуменального кванта»). Очень важным для выяснения экзистенциального статуса квазиобъекта является критерий устойчивости, органично связанный с системой критериев существования. В парадигмах, основанных на макроэталонах, устойчивость процесса является главнейшим критерием существования, причем чаще всего речь идет об устойчивости форм, в то время как сущностно-содержательная устойчивость интерпретационно сложна и выясняется, как правило, только на вербальном уровне, что существенно снижает операционные возможности (в смысле «строгости», «прогностичности» и коммуникативности). Если классически неустойчивые, нестабильные, неравновесные, нестационарные объекты или процессы рассматривать как квазиобъекты, то, вполне возможно, их интерпретация окажется нетривиально-содержательной относительно соответствующих задач об устойчивости квазиобъектов (процессов, явлений, тенденций, систем и т.п.). Для проведения дальнейшей разработки всех аспектов нового понятия целесообразна реализация соответствующей исследовательской программы» [3, с. 155–156].

Таким образом, в данном случае есть два подхода к изучению сложного явления, играющего исключительно важную роль в вычислительной, импульсной, измерительной технике и системах автоматического регулирования: философский и естественнонаучный, которые не конкурируют друг с другом, а дополняют друг друга.

Библиографический список

1. Аскин, Я.Ф. Проблема времени. Ее философское истолкование [Текст] / Я.Ф. Аскин. – М. : Мысль, 1966. – 200 с.
2. Дружинин, В.В. Системотехника [Текст] / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов. – М. : Радио и связь, 1985. – 200 с. : ил.
3. Евстратов, С.А. Квазиобъект [Текст] / С.А. Евстратов // Проективный философский словарь : Новые термины и понятия ; под ред. Г.Л. Тульчинского и М.Н. Эпштейна. – СПб. : Алетейя, 2003. – 512 с. – (Сер. «Тела мысли»).
4. Егоров, Ю.В. Словарь-справочник по естествознанию [Текст] / Ю.В. Егоров, Л.Н. Аркавенко, О.А. Осипова. – Екатеринбург Сократ, 2004. – 432 с. : ил.
5. Кандрашина, Е.Ю. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах [Текст] / под ред. Д.А. Поспелова. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит, 1989. – 328 с. – (Пробл. искусств. интеллекта).
6. Конторов, Д.С. Внимание: системотехника [Текст] / Д.С. Конторов. – М. : Радио и связь, 1993. – 224 с. : ил.
7. Коротаев, С.М. Новые подходы к проблеме времени [Текст] / С.М. Коротаев // Земля и вселенная. – 1989. – № 2. – С. 53–54.
8. Коротков, А.В. Элементы семимерного векторного исчисления. Алгебра. Геометрия. Теория поля [Текст] / А.В. Коротков. – Новочеркасск : Набла, 1996. – 244 с.
9. Лолаев, Т.П. Время объективной реальности: его философское обоснование и экспериментальное подтверждение [Текст] / Т.П. Лолаев // Время и человек (Человек в пространстве концептуальных времен). – Новочеркасск : «НОК», 2008. – 316 с. – С. 40–60.
10. Мешков, В.Е. Время в искусственных системах (Нелинейность времени в искусственных системах) [Текст] / В.Е. Мешков, Е.В. Мешкова, В.С. Чураков // Проблема времени в культуре, философии и науке : сб. науч. тр. ; под ред. В.С.Чуракова. (Библиотека времени. Вып. 3). – Шахты : Изд-во ЮРГУЭС, 2006. – 155 с. – С. 20–24.
11. Мешков, В.Е. Время в системотехнике [Текст] / В.Е. Мешков, В.С. Чураков // Проблема времени в культуре, философии и науке : сб. науч. тр. ; под ред. В.С. Чуракова. (Библиотека времени. Вып. 3). – Шахты : Изд-во ЮРГУЭС, 2006. – 155 с. – С. 25–28.
12. Мешков, В.Е. Темпоральность радиоэлектронных элементов в аномальных режимах работы [Текст] / В.Е. Мешков, В.С. Чураков // Проблема времени в культуре, философии и науке : сб. науч. тр. ; под ред. В.С. Чуракова. (Библиотека времени. Вып. 3). – Шахты : Изд-во ЮРГУЭС, 2006. – 155 с. – С. 35–39.

13. Овечкин, А.М. Основы чжень-цзю терапии [Текст] / А.М. Овечкин. – Саранск : Саранский филиал СП «Норд», изд-во «Голос», 1991. – 417 с.
14. От моделей поведения к искусственному интеллекту [Текст] / под ред. В.Г. Редько. – М. : КомКнига, 2006. – 456 с. : цв. вкл. (Науки об искусственном).
15. Пименов, Р.И. Основы темпорального универсума [Текст] / Р.И. Пименов. – Сыктывкар : Коми научный центр УрО АН СССР, 1991. – 193 с.
16. Поликарпов, В.С. Наука и мистицизм в XX веке [Текст] / В.С. Поликарпов. – М. : Мысль, 1990. – 219 с.
17. Сагатовский, В.Н. Философия развивающейся гармонии: философские основы мировоззрения [Текст]. В 3 ч. Ч. 2 / В.Н. Сагатовский. – СПб. : Изд-во СПб. ун-та, 1999. – 272 с.
18. Современная западная философия [Текст] : словарь / составители В.С. Малахов, В.П. Филатов. – М. : Политиздат, 1991. – 414 с.
19. Степин, В.С. Теоретическое знание [Текст] / В.С. Степин. – М. : Прогресс-Традиция, 2003. – 744 с.
20. Степин, В.С. Научная картина мира в культуре техногенной цивилизации [Текст] / В.С. Степин, В.С. Кузнецова. – М. : ИФ РАН, 1994. – 272 с.
21. Сучкова, Г.Г. Время как проблема гносеологии [Текст] / отв. ред. В.Е. Давидович ; Рост. гос. ун-т им. М.А. Суслова. – Ростов н/Д. : Изд-во Рост. ун-та, 1988. – 201 с.
22. Торчинов, Е.А. Пути философии Востока и Запада: познание предельного [Текст] / Е.А. Торчинов. – СПб. : Азбука-классика; Петербургское Востоковедение, 2005. – 480 с.
23. Шалютин, С.М. Искусственный интеллект [Текст] : Гносеологический аспект / С.М. Шалютин. – М. : Мысль, 1985. – 199 с.
24. Шулицкий, Б.Г. Мадэализм – концепция мировоззрения III тысячелетия. (Заметки по поводу модернизации физической теории) [Текст] / Б.Г. Шулицкий. – Минск, 1997. – 176 с.

РАЗДЕЛ 3

ОПТОИНФОРМАТИКА

УДК 007:535.317
Васильев В.Н., Павлов А.В.

О ПРИМЕНИМОСТИ ГОЛОГРАФИИ ФУРЬЕ В ПРОБЛЕМЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТВОРЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ

Рассмотрен биологически мотивированный подход к решению задач в рамках модели нейронной сети, состоящей из двух слоев – репрезентаций и распознавания, соединенных двунаправленными связями. Эта модель адекватна схеме голографии Фурье. Предложена классификация задач, основанная на распознавании паттерна внутренней репрезентации условий задачи. Показана возможность самостоятельного выбора сетью типа динамики, адекватного встреченной задаче.

Введение. Задачи, решаемые интеллектом, можно условно разделить на две группы – стандартные и творческие [13]. Стандартной считается задача на вспоминание ранее уже известного знания. Творческой – задача, решение которой ранее не было известно и(или) предполагает формирование нового образа внешнего мира, т.е. нового индивидуального знания. В то время как решение стандартных задач более или менее успешно моделируется различными искусственными средствами в рамках искусственного интеллекта, к проблеме моделирования творческого мышления подступы ищутся и активно обсуждаются.

Известно, что решение творческих задач относится по преимуществу к компетенции правого полушария [7], реализующего образную форму мышления (ОМ). Известно также, что ОМ наиболее эффективно моделируется в рамках нейросетевой парадигмы. При этом высокому уровню развития ОМ должен соответствовать адекватный уровень мышления логического для проверки найденного решения на адекватность реальности [13].

Из результатов, полученных в когнитивных науках, известно также, что способность к решению творческих задач неразрывно связана со способностью к «погружению в хаос» (и выходу из него) для генерации новых образов в хаотическом режиме нейронной активности [14], [5].

Другой важнейший атрибут интеллекта, имеющий непосредственное отношение к творческим способностям, – способность к предсказанию, предвидению дальнейшего развития событий [8].

Принятие этих предпосылок определяет поиск механизмов решения творческих задач в рамках нейросетевых методов, объединяющих образную и логическую формы мышления [3], вкупе с возможностью реализации сценариев перехода к хаосу и моделей предсказания. В статье [12] показано, что метод Фурье-голографии позволяет интегрировать две формы

мышления, реализуя нечетко-значимую логику при обработке паттернов внутренней репрезентации воспринимаемой информации, аналогичных паттернам нейронной активности коры головного мозга. В работах [9, 10, 11] методом Фурье-голографии реализована модель линейного предсказателя и экспериментально продемонстрирован эффект, аналогичный известному в психологии феномену познавательного дрейфа.

В статье, в развитие работ [9, 10, 11], предложен подход к применению модели двуслойной нейронной сети, адекватной схеме Фурье-голографии, в проблеме реализации творческого мышления.

1. Подход к задаче

1.1. Модель нейронной сети

Рассмотрим (весьма упрощенно) процесс решения задачи в рамках нейросетевого подхода. Воспринимаемая из внешнего мира информация, пройдя сенсоры и сенсорные тракты, активирует нейроны коры головного мозга. Инициированная картина нейронной активности коры называется паттерном внутренней репрезентации воспринимаемой информации (ПВР). Аналогично, любое воспоминание также приводит к формированию соответствующей картины нейронной активности – ПВР запомненного образа. Мозг, как нейронная сеть (НС), обрабатывает ПВР, а знания (внутренняя, субъективная картина мира) хранятся в виде весов межнейронных связей. Применительно к решению задач, ПВР воспринимаемой информации – это ПВР условий задачи. При решении задачи в коре формируется новый ПВР – решение.

Примем модель *НС* из двух слоев – слоя репрезентаций *R*, в котором вводятся ПВР, и корреляции *C* (рис. 1). Знания хранятся в виде матрицы двунаправленных связей *H*, соединяющих слои *R* и *C*. Как было показано ранее, эта модель адекватна схеме голографии Фурье – слой репрезентаций соответствует слою изображений, слой распознавания – слою корреляций, а матрица весов связей реализуется голограммой Фурье.

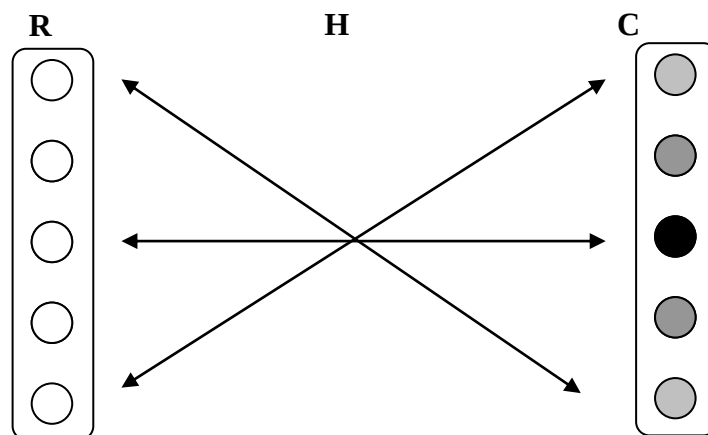


Рис. 1. Модель двуслойной нейронной сети с двунаправленными связями

Данная модель относится к категории динамических систем. Если динамика системы конвергентна, то эта *НС* – частный случай двунаправленной ассоциативной памяти [16] и в пространстве состояний *НС* имеются только стабильные аттракторы, соответствующие паре: эталонный ПВР в слое $C \leftrightarrow$ ГМ АКФ.

1.2. Биологически мотивированный подход к решению задач

Согласно результатам, полученным в когнитивных науках [4], интеллектуальная деятельность направлена на формирование целостной внутренней картины мироустройства. Соответственно, если ПВР воспринимаемой информации с точки зрения интеллектуального агента обладает свойством целостности, то проблемы нет. Задача возникает тогда, когда ПВР субъективно неполон, дефектен, искажен. Решение задачи заключается в достройке субъективно неполного ПВР воспринимаемой информации до субъективно целого ПВР.

В рамках нейросетевого подхода, при предъявлении ПВР в слое *R*, в слое *C* формируется функция взаимной корреляции объектного (условий задачи) и эталонного (знаний) ПВР. Коэффициент корреляции является мерой соответствия ПВР задачи внутренней картине мироустройства (знаниям). Если коэффициент корреляции равен 1, то ПВР воспринимается как эталонный, проблемы нет. Если коэффициент корреляции меньше 1, то ПВР задачи либо неполон, либо искажен – его надо достроить до полного или исправить искажения – это и есть задача.

Далее рассмотрим три условных класса задач и методы их решения:

1. **Стандартная задача** – коэффициент корреляции ПВР условий задачи и имеющихся знаний меньше единицы, но превышает некоторый порог, т.е. условия задачи знакомы – ПВР задачи опознан как фрагмент или искаженная версия уже известного, эталонного ПВР. Для того чтобы решить задачу, надо просто вспомнить известный ответ – эталонный ПВР. Думать не надо. Такой метод решения реализуем в *НС* (рис.1) – в обратном ходе $C \rightarrow H \rightarrow R$ в слое *R* восстанавливается эталонный ПВР, т.е. реализуется ассоциативная память [15, 16, 17]. Новой информации при решении не создается.

2. **Задача** становится **творческой** (ТЗ), если коэффициент корреляции ПВР задачи и знаний не превышает порог – в памяти нет готового ответа, который можно было бы просто вспомнить, возникает необходимость думать. «Думание» – первый этап процесса решения, завершающийся выдвижением гипотезы – формированием в слое *R* ПВР новой картины мироустройства, обладающей свойством целостности (субъективно). На этапе выдвижения гипотезы необходимо обеспечить устойчивость знаний – построение ПВР гипотезы не должно приводить к изменению самой матрицы *H* до тех пор, пока ПВР гипотезы не проверен на адекватность реальности. Именно в этом пункте отличие гения от сумасшедшего.

Следующие этапы решения творческой задачи – проверка ПВР гипотезы на адекватности реальности и, при положительном результате, переобучение, т.е. включение новой картины мироустройства в структуру индивидуального знания. Ограничимся рассмотрением первого этапа.

Раздумья отличаются от фантазий тем, что основаны на имеющемся знании. Поскольку гипотеза должна быть расширением или модификацией ПВР задачи, то требование на связь гипотезы со знаниями может быть удовлетворено, например, применением модели регрессии условий задачи по знаниям. В этих рамках возможны оба варианта – как достройка ПВР задачи, т.е. экстраполяция, так и модификация ПВР. Как будет показано ниже, использование регрессии ПВР задачи по эталонному ПВР (знаниям) для построения гипотезы позволяет удовлетворить требование на устойчивость знаний до проверки гипотезы на адекватность. Рассмотрим два варианта ТЗ – «простой» и «сложной»:

2.1. «Простая» творческая задача – для ее решения не требуется генерации новых знаний, а достаточно уже имеющихся. Гипотеза может быть построена как регрессия ПВР задачи по ПВР знаний. Частный случай регрессии – линейный предсказатель может быть реализован в обсуждаемой модели НС [9, 10]. Тем самым, обсуждаемая НС может быть применена для решения не только стандартных (ассоциативная память), но и простых творческих задач (предсказатель).

2.2. Творческая задача «сложная», если решение не может быть получено на основе только имеющихся знаний – регрессия условий задачи по знаниям не позволяет найти решение. Для нахождения решения необходимо изменение модели мироустройства, генерация новых знаний.

Известно [13], что для решения ТЗ полезно «посмотреть под другим углом» как на условия задачи (переформулировать), так и на знания – временно отказаться от каких-то постулатов, считающихся незыблемыми, усомниться в известных законах мироздания. В рамках НС подхода это значит, что необходимо изменить как ПВР задачи, так и знания. При этом заранее неизвестно, ни как именно надо изменить ПВР, ни какой именно ПВР. Поэтому необходимо перебрать множество вариантов, причем эти изменения ПВР должны быть не совершенно произвольными, но принадлежать ограниченной области. Границами этой области служат базовые законы, определяющие диапазон возможных изменений ПВР и, тем самым, предотвращающие порождение химер – ПВР, невозможных с точки зрения фундаментальных законов мироздания.

Эти условия удовлетворяются посредством «погружения в хаос» модели регрессии. Хаотическая динамика позволяет генерировать множество ПВР, отличающихся друг от друга, но принадлежащих одной, ограниченной области пространства состояний системы, называемой странным аттрактором. Свойство плотности обеспечивает перебор в хаотическом режиме почти всех возможных гипотез из данной области. (Отметим, что свойство плотности как математическая абстракция в реальности ограничено фундаментальным физическим явлением дифракции.)

Один из методов «погружения в хаос» и выхода из него предлагает сценарий Фейгенбаума [6]. В обсуждаемой модели НС (рис. 1) сценарий Фейгенбаума реализуем при выборе надлежащих нелинейных активационных функций в слое R .

Таким образом, обсуждаемая модель двуслойной НС с двунаправленными связями позволяет реализовать как конвергентную динамику в рамках моделей ассоциативной памяти и регрессии, так и сценарий Фейгенбаума вкупе с моделью линейной регрессии. Тем самым, данная НС может быть использована для решения всех трех типов задач. Однако, поскольку заранее неизвестно, какой именно тип задачи встретится, система должна самостоятельно выбирать как тип динамики, так и модель, соответствующие встреченной задаче.

1.3. Самостоятельная настройка сети на тип динамики, необходимый для решения встреченной задачи

В рамках нашего подхода различие между типами задач проявляется в слое C величиной отношения ГМ АКФ к боковым максимумам (рис. 2). Если это отношение больше некоторого порога, то задача относится к классу простых и, соответственно, динамика НС должна быть конвергентной (рис. 2а) – только ГМ АКФ должен формировать отклик в слое C . Для простой ТЗ отношение ниже и боковые максимумы должны попадать в рабочий диапазон активационной функции нейронов слоя C , динамика также должна быть конвергентной (рис. 2б). Для сложной ТЗ отношение еще ниже, а динамика должна быть хаотической (рис. 2в).

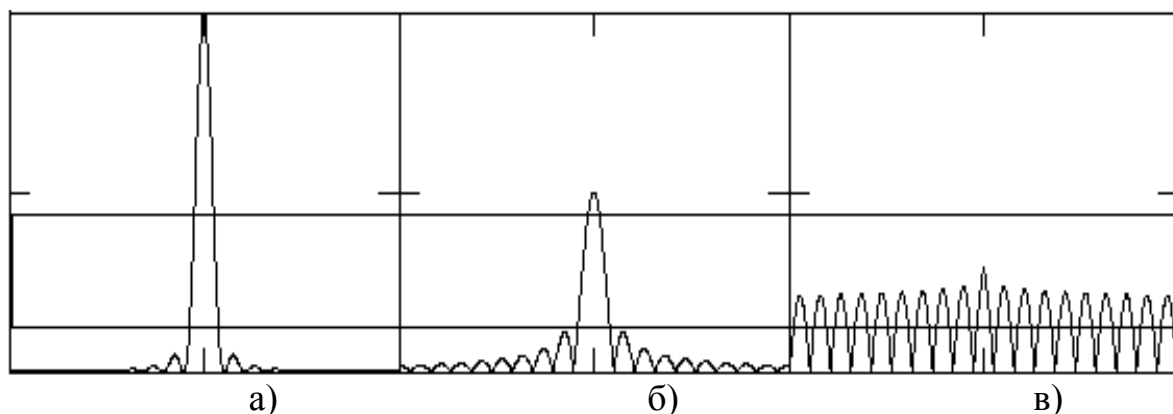


Рис. 2. Различие между типами задач

Конвергентной динамика должна быть для процессов, инициированных как глобальным максимумом (зона А на рисунке 2а), так и боковыми максимумами, если их амплитуда соответствует простой ТЗ (зона В на рисунке 2б). Первое условие необходимо для реализации ассоциативной памяти. Последнее условие необходимо в силу того, что мы приняли модель регрессии, а для построения регрессии используются боковые максимумы корреляционной функции [9]. Иными словами, необходима такая активационная функция слоя C , чтобы переход к хаотической динамике происхо-

дил только при старте процесса из диапазона Б. При старте из другого диапазона, соответствующего простой задаче, динамика должна быть либо конвергентной, либо циклической.

2. Моделирование на основе экспериментальных данных

Требуемые для реализации подхода активационные функции нейрона удалось найти среди передаточных функций голографических регистрирующих сред, например, модуляторов на жидких кристаллах [1] или фоторефрактивных кристаллов [2]. Эти функции были использованы для численного моделирования.

На рисунке 3а приведена бифуркационная диаграмма, рассчитанная для передаточной функции жидкокристаллического модулятора при величине динамического диапазона $[0,185]$ в относительных единицах и старте из точки $x_1=40$. Диаграмма показывает зависимость значения неподвижной точки (ось Y), к которой сходится процесс, от значения параметра, входящего в выражение для передаточной функции модулятора, принятой в качестве итерирующего отображения (1). На рисунке 3б приведен ее увеличенный фрагмент, а на рисунке 4а – диаграмма при старте из точки $x_1=100$. Значения параметра на диаграммах (ось X) масштабированы в 2000 раз. Начиная с некоторого значения параметра, появляется зависимость динамики системы от точки, из которой начинается процесс – при старте из одних точек динамика циклична (рис. 4а), а затем снова становится конвергентной, при старте из других (рис. 3а) неподвижная точка теряет устойчивость и появляется область хаотической динамики.

На рисунке 4б приведена зависимость неподвижной точки для отображений первого (1) и второго (2 и 2') порядка. Из рисунка 4б видно, что, начиная с некоторого значения параметра a , при сохранении неподвижных точек периода 2 (кривые 2), отображение второго порядка приносит еще четыре неподвижные точки, формирующие цикл периода 4 (кривые 2'), при этом неподвижные точки периода 2 сохраняют устойчивость.

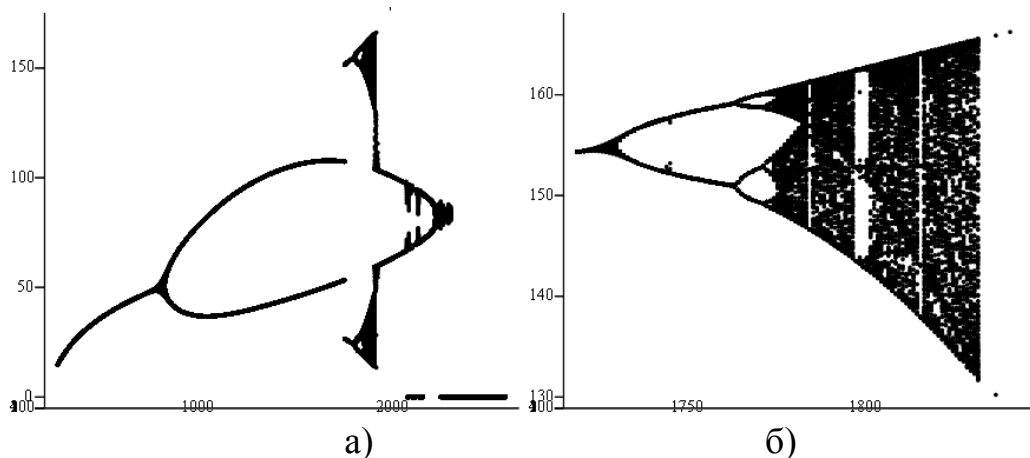


Рис. 3. Бифуркационная диаграмма при старте из точки 40 – а; фрагмент – б

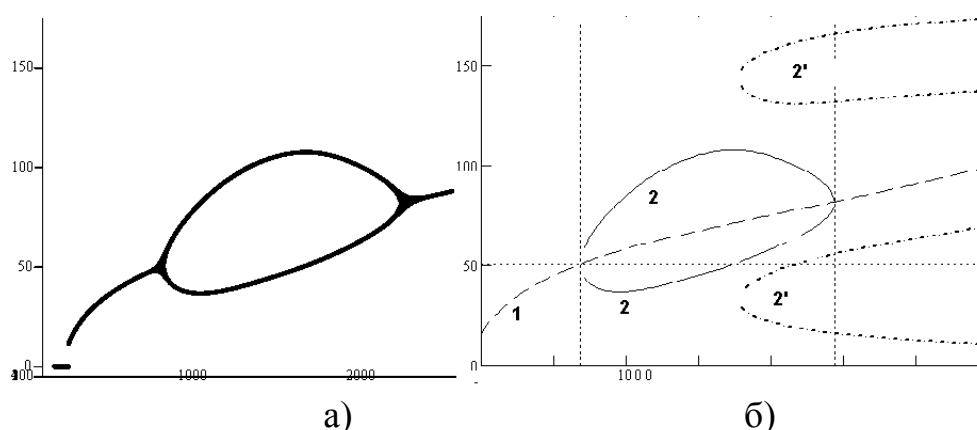


Рис. 4. Бифуркационная диаграмма при старте из точки 100 – а; зависимости неподвижной точки для отображений первого и второго порядков – б.

На рисунке 5 показана сходимость данного итерационного процесса в диапазоне [40, 200] итераций в зависимости от точки старта (ось абсцисс) при значении параметра 0,913 (при масштабировании к рис. 3 – 1826). В зависимости от точки старта процесс либо сходится к предельному циклу периода 2 (горизонтальные линии), либо реализуется хаотическая динамика в ограниченном диапазоне амплитуд – точки, описывающие состояние системы плотно заполняют черные прямоугольники.

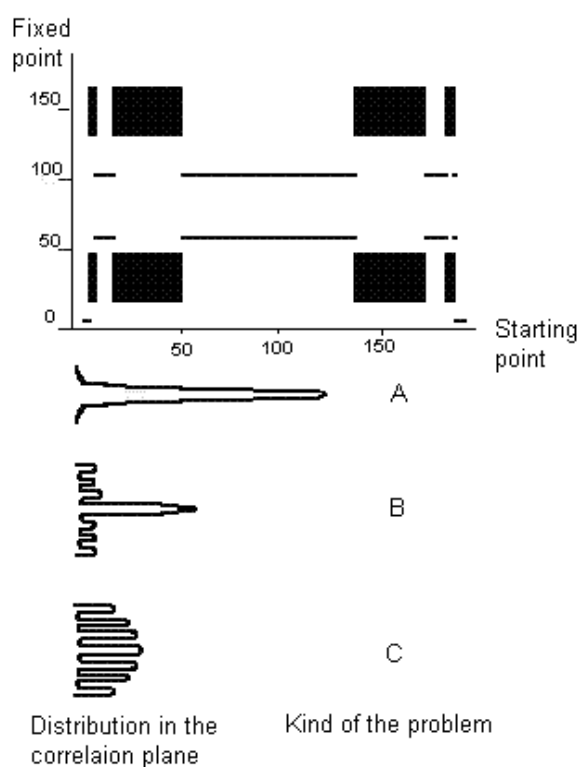


Рис. 5. Зависимость сходимости процесса от типа задачи

Таким образом, приведенная на рисунке 5 зависимость динамики системы от точки старта позволяет реализовать самостоятельную настройку НС на требуемый для решения встреченной задачи тип динамики, а именно:

А. Если условия задачи знакомы, то ПВР задачи коррелирует с имеющимися знаниями H – отношение ГМ АКФ к боковым максимумам высоко. Амплитуда ГМ АКФ попадает в диапазон, при старте из которого процесс сходится к предельному циклу – в слое R формируется эталон.

В. «Простая» ТЗ. ПВР условия задачи вызывает слабый отклик – отношение глобального максимума к боковым максимумам невысокое, но амплитуды как глобального максимума, так и боковых максимумов попадают в диапазоны, при старте из которых, реализуются предельные циклы. В этом случае боковые максимумы строят линейное предсказание.

С. «Сложная» творческая задача. Условия задачи совершенно незнакомы – ГМ АКФ не выделяется. Максимумы корреляционной функции попадают в диапазон, при старте из которого реализуется хаотическая динамика. Тем самым каждый генерируемый в хаотическом режиме паттерн в слое R строится как регрессия ПВР задачи по знаниям H , а параметры регрессии меняются хаотически – происходит перебор множества паттернов из ограниченного диапазона (рис. 5).

3. При чем здесь голография?

Единственной на сегодня реальной технологией, позволяющей реализовать основные атрибуты парадигмы НС, является голография. В рамках рассмотренной темы актуальны следующие атрибуты голографии – естественное представление и обработка информации в виде образов, обучаемость вместо программирования (самостоятельное формирование структуры связей), естественный параллелизм обработки. Используемые модели НС и линейного предсказателя описывают реальную схему Фурье-голографии (ФГ). Таким образом, рассмотренный подход не только биологически мотивирован, но и физически обоснован. Переход к хаосу за счет нелинейной активационной функции в слое корреляций позволяет как удовлетворить требование на устойчивость знаний, так и моделировать оба метода решения ТЗ (изменение условий как задачи, так и знаний) в совокупности, т.к. мы не знаем, какой из методов реализуется «на самом деле», а знания (голограмма) при этом остаются стабильными.

Заключение. Таким образом, модель двуслойной НС может быть применена при решении трех типов задач. Тип встреченной задачи определяется отношением ГМ АКФ к боковым максимумам, что позволяет реализовать самостоятельный выбор сетью типа динамики, необходимой для решения задачи, выбором активационной функции нейронов. Если

условия задачи знакомы, то система реализует модель ассоциативной памяти. Для задач творческих система самостоятельно реализует либо модель линейного предсказателя для «простых» творческих задач, либо хаотический тип динамики в случае «сложной» задачи. Для реализации этого подхода необходимы голографические регистрирующие среды с нелинейными передаточными функциями, удовлетворяющими определенным условиям.

За рамками рассмотрения остался следующий этап решения творческой задачи – проверка паттерна гипотезы на адекватность реальности. Этот вопрос требует выхода за рамки модели НС, поскольку НС оперирует только паттернами внутренней репрезентации и знаниями.

Автор считает приятным долгом выразить благодарность проф. И.Б. Фоминых, инициировавшему данную работу, проф. О.П. Кузнецову за ряд обсуждений, А.Н. Чайке за экспериментальные результаты, использованные при численном моделировании.

Библиографический список

1. Амосова, Л.П. Нелинейный режим реверсивной записи голограмм на структурах фотопроводник – жидкий кристалл [Текст] / Л.П. Амосова, Н.И. Плетнева, А.Н. Чайка // Оптический журнал. – 2005. – Т. 72. – № 6.
2. Богодаев, Н.В. Двойное ОВФ-зеркало: экспериментальное исследование и сопоставление с теорией [Текст] / Н.В. Богодаев [и др.] // Квантовая электроника. – 1992. – Т. 19. – 37 с.
3. Голицын, Г.А. Нейронные сети и экспертные системы: перспективы интеграции [Текст] / Г.А. Голицын, И.Б. Фоминых // Новости искусственного интеллекта. – 1996. – № 4.
4. Князева, Е.Н. Методы нелинейной динамики в когнитивной науке [Текст] / Е.Н. Князева // Синергетика и психология. Вып. 3. Когнитивные процессы. – Когито-Центр, 2004.
5. Комбс, А. Сознание: Хаотическое и странно-аттракторное [Текст] / А. Комбс // Синергетика и психология. Вып. 3. Когнитивные процессы. – М. : Когито-Центр, 2004.
6. Кроновер, Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах [Текст] / Р.М. Кроновер. – М. : Постмаркет, 2000.
7. Кузнецов, О.П. Неклассические парадигмы в ИИ [Текст] / О.П. Кузнецов // Известия АН, Сер. Теория и системы управления. – 1995. – № 5.
8. Моллер, Р. Восприятие через антиципацию [Текст] / Р. Моллер, Х.-М. Гросс // Синергетика и психология. Вып. 3. Когнитивные процессы. – Когито-Центр, 2004.
9. Павлов, А.В. Реализация модели линейного предсказателя методом Фурье-голографии [Текст] / А.В. Павлов // Оптический журнал. – 2005. – Т. 72. – № 2.

10. Павлов, А.В. Реализация регрессионных моделей обработки информации методом Фурье-голографии [Текст] / А.В. Павлов // Известия Академии Наук. Сер. : Теория и Системы Управления. – 2005. – № 2.
11. Павлов, А.В. Возможности ассоциативной обработки информации, реализуемые методом Фурье-голографии [Текст] / А.В. Павлов // Новости Искусственного Интеллекта. – 2006. – № 2.
12. Павлов, А.В. Подход к интеграции логического и образного мышления методом Фурье-голографии [Текст] / А.В. Павлов // Новости Искусственного Интеллекта. – 2006. – № 4.
13. Фоминых, И.Б. О технологии решения творческих задач [Текст] / И.Б. Фоминых // в сб. трудов VIII Национальной конференции по искусственному интеллекту «КИИ-2002». – М. : Физматлит, 2002. – Т. 1.
14. Фриман, У.Дж. Динамика мозга в восприятии и сознании: творческая роль хаоса [Текст] / У.Дж. Фриман // Синергетика и психология. Вып. 3. Когнитивные процессы. – М. : Когито-Центр, 2004.
15. Farhat, N.H. Optical Implementation of the Hopfield Method / N.H. Farhat, D. Psaltis, A. Prata, E. Paek, – Appl. Opt. 24, 1469 (1985).
16. Kosko, B. Adaptive Bidirectional Associative Memories / B. Kosko // Applied Optics. – 1987. – Vol. 26. – № 23.
17. Owechko, Y. Nonlinear holographic associative memories / Y. Owechko // IEEE Journal of Quantum Electronics. – 1989. – v. 25. – № 3.
18. Pavlov, A.V. Fourier-holography Techniques for Artificial Intelligence / A.V. Pavlov // ICO Book “Advantages in Optics”, SPIE Press, 2008.

УДК 681.5

Семенов В.В., Ханжонков Ю.Б., Асцатуров Ю.Г.

РАЗРАБОТКА ТЕЛЕВИЗИОННОГО АНАЛИЗАТОРА ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ АЭРОЗОЛЕЙ

В работе описана установка, построенная на базе телевизионного анализатора и фотоэлектрического счетчика частиц, позволяющая определять и хранить параметры промышленных аэрозолей, необходимые для моделирования, расчета и градуировки оптико-электронных датчиков аэрозолей. Используя полученные при помощи установки данные, можно достаточно быстро перенастраивать существующие датчики под конкретный вид промышленных аэрозолей. Это позволяет сократить сроки разработки оптико-электронных датчиков и расширить диапазон их применения.

Развитие аэрозольных технологий, возрастание технологических и экологических требований к допустимому содержанию механических примесей в газах обусловили повышение интереса к анализу дисперсности взвешенных частиц определению их размеров и концентраций. Информа-

ция о дисперсности частиц необходима в самых разных областях науки и техники – в электронной, оптической, химической промышленности, порошковой металлургии, физике атмосферы и т.д.

Весьма широк спектр проблем, связанных с анализом параметров аэродисперсных систем, и в физике атмосферы. Аналогичные проблемы, связанные с контролем биологических взвешенных частиц – форменных элементов крови, бацилл и т.д. – важны и для медицины, биологии, где помимо определения размеров и концентрации частиц, весьма важной является и классификация аэрозольных частиц по их форме, позволяющая качественно оценивать природу частиц. Эти и другие практические задачи стимулируют интерес к развитию методов определения концентрации, размеров и формы взвешенных частиц. При разработке оптико-электронных датчиков для контроля концентрации промышленного аэрозоля существует проблема их градуировки под конкретный вид пыли. В ряде случаев приходится градуировать эти датчики только на месте их установки или в лабораторных условиях на специальных стендах.

Используя предлагаемый в работе телевизионный анализатор, позволяющий определять и хранить параметры для расчета и градуировки оптико-электронных датчиков, можно достаточно быстро перенастраивать существующие датчики под конкретный вид промышленных аэрозолей. Это позволяет сократить сроки разработки оптико-электронных датчиков и расширить диапазон их применения. Суть телевизионных методов состоит в том, что частицы освещают световым пучком и формируют соответствующей оптикой на фотокатоде видеокамеры их изображения (обычно светлопольные), по которым и судят о размерах частиц. При этом каждая частица дает лишь одно изображение, соответствующее проекции частицы лишь на одну плоскость (перпендикулярную оси светового пучка).

Метод открывает возможность не только в реальном времени фиксировать положение частицы, но и производить измерение большого количества параметров. Таким образом, достоинства телевизионного метода заключаются в его высокой информативности, возможности проецирования частицы на выделенную плоскость, определении объемной формы несферической частицы.

Информации, содержащейся только в одном изображении, недостаточно для однозначной оценки формы частиц. Чтобы получить второе изображение, соответствующее проекции частицы на перпендикулярную плоскость, частицу необходимо осветить вторым пучком, перпендикулярным первому. В обычных схемах [1] для освещения частицы вторым пучком, перпендикулярным первому, требуется и второй регистратор, что существенно усложняет конструкцию анализатора (поскольку необходимо обеспечить регистрацию изображений одной и той же частицы). В то же время в анализаторах подобного рода поле зрения обычно существенно превосходит размеры частиц, и в принципе возможно «полезное» использование этого обстоятельства. В разрабатываемом анализаторе световой

пучок на выходе из потока разворачивают на 90^0 и вновь пропускают через поток. В результате каждая частица освещается двумя световыми пучками, перпендикулярными друг другу. При этом дополнительная оптическая система строит в области потока действительное изображение частицы, соответствующее ее освещению исходным пучком, а «свободная часть» развернутого пучка дает возможность получить второе изображение. То есть в данном случае достаточно лишь одного регистратора.

Для исследования частиц, движущихся в потоке, необходим некий счетный объем, в пределах которого они будут наблюдаться, и оптическая система, состоящая из линз и зеркал, которая позволяет регистрировать изображения частиц во взаимно перпендикулярных плоскостях. Структурную схему анализатора взвешенных частиц можно представить в виде, изображенном на рисунке 1.

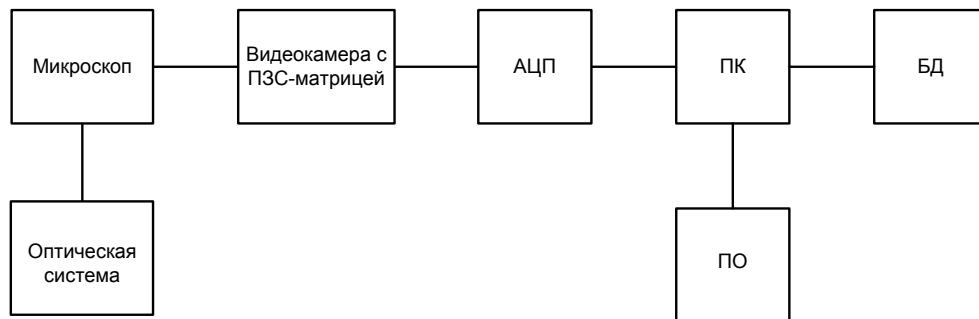


Рис. 1. Структурная схема динамического анализатора частиц

При измерениях непосредственно в потоке (без отбора проб на подложку) для корректных измерений необходимо ограничить счетный объем вдоль оси светового пучка допустимой глубиной резкости, что является не простой задачей и решается, например, выбором определенной степени когерентности светового пучка и дополнительной нетривиальной обработкой изображений [3]. То есть реализация известных телевизионных методов, применительно к измерениям в потоках, является достаточно сложной.

В связи с этим рассмотрим возможности развития телевизионных методов, позволяющие повысить информативность измерений при одновременном упрощении реализации ограничения счетного объема. Схема устройства, позволяющего получить на фотокатоде видеокамеры одновременно два изображения, соответствующих проекциям частицы на две взаимно перпендикулярные плоскости, представлена на рисунке 2а.

Зеркала 5 и 6 установлены таким образом, что ось светового пучка на выходе объектива 7 (ось ОУ) перпендикулярна оси светового пучка на выходе объектива 2 (оси ОХ). Объективы 4 и 7 установлены таким образом, что передний фокус объектива 4 совпадает с задним фокусом объектива 7 в некоторой точке А (рис. 2б). Объектив 8, соосный с объективом 7, оптически сопрягает указанный выше общий фокус А объективов 4 и 7 с неко-

торой точкой A' (рис. 2в) в плоскости регистрации (плоскости фотокатода видеокамеры 9). Обработка изображения осуществляется в соответствующем блоке 10.

Схема разворота светового пучка (объективы 4, 7 и зеркала 5, 6) строит в области потока 3, перпендикулярного плоскости рисунка, первое действительное изображение 12 частицы 11 (рис. 2б), причем это изображение соответствует проекции частицы на плоскость YOZ , поскольку при построении этого изображения частица освещается пучком от объектива 2, распространяющимся вдоль оси OX . Указанное изображение 12 (такое же, как и в известных методах) объективом 8 переносится в плоскость регистрации как изображение изображения 14 (рис. 2в). Одновременно объектив 8 строит в этой же плоскости второе изображение 13 той же частицы 11, однако изображение 13 соответствует проекции частицы не плоскость XOZ , поскольку при построении этого изображения частица освещается пучком от объектива 7, распространяющегося вдоль оси OY .

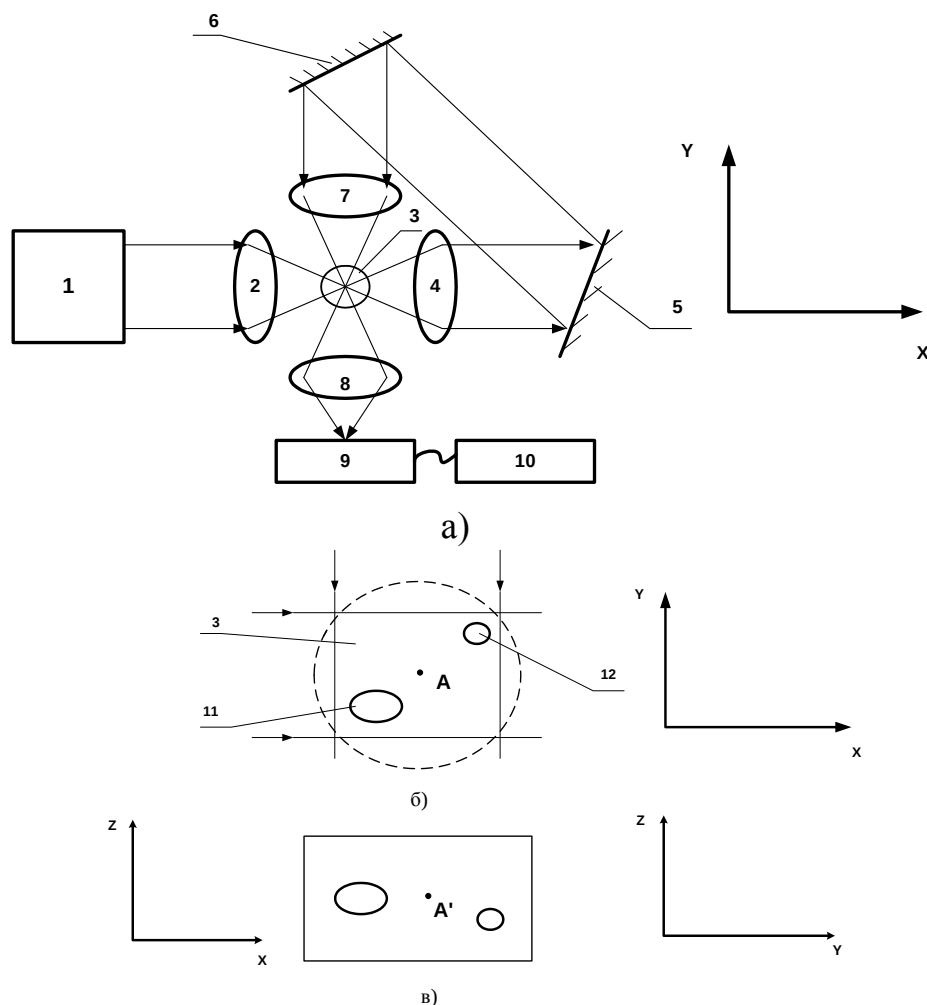


Рис. 2. Формирование проекций частицы на две взаимно перпендикулярные плоскости в телевизионном анализаторе:

- 1 – осветитель; 2, 4, 7, 8 – объективы; 3 – поток частиц; 5, 6 – зеркала; 9 – видеокамера;
10 – блок обработки; 11 – частица; 12, 13 – первое и второе изображения частицы;
14 – изображение первого изображения

Если частица находится точно в общем фокусе объективов 4 и 7 (в точке A), то изображения 13 и 14 наложатся друг на друга (в точке A'). Этого наложения можно избежать, если несколько разнести указанные фокусы (например, в направлении потока частиц) на величину, превосходящую максимальный размер частиц.

Таким образом, в плоскости регистрации формируется одновременно два изображения каждой частицы, соответствующие ее проекциям на взаимно перпендикулярные плоскости.

Рассмотрим некоторые особенности этих изображений. Как видно из рисунков, расстояние изображений 13 и 14 от точки A' пропорционально расстоянию частицы 11 от осей объективов 7 и 4 соответственно. То есть оказывается возможной оценка пространственного положения частицы в плоскости пересечения прямого и развернутого пучков (в плоскости XOY). В частности, для ограничения счетного объема в этой плоскости достаточно из всей совокупности пар изображений отбирать для последующей обработки лишь «хорошие» пары, для которых указанные расстояния (или же, что проще в реализации, расстояние между изображениями) меньше заданной величины.

Далее, если частица находится в пределах допустимой глубины резкости, то максимальный размер изображений 13 и 14 в направлении OZ (рис. 2в) есть не что иное, как проекции этих изображений (то есть проекции частицы) на указанную ось. Очевидно, что этот размер будет одинаков для обоих изображений 13, 14 частиц любой формы и ориентации. При выходе частицы за пределы допустимой глубины резкости указанные размеры этих изображений могут отличаться друг от друга. Итак, сравнение указанных размеров дает дополнительную информацию о положении частицы в плоскости рисунка (XOY) и может также использоваться для ограничения счетного объема.

При соответствующей обработке изображений, особенно легко реализуемой с помощью ПЭВМ (ПО MATLAB или NI Vision Builder), нетрудно найти как площадь каждого изображения, так и длину его проекции на взаимно перпендикулярные оси координат OX , OY , OZ (рис. 2в). Следовательно, можно вычислить и оба главных размера частицы при ее произвольной ориентации в пространстве.

Для определения размеров частицы в трех координатах, необходимо знать его проекции не на две, а на три плоскости. Опираясь на вышеизло-

женное, ясно, что эта задача может быть решена исходя из схемы на рисунке 2 путем дополнительного разворота светового пучка в плоскости, перпендикулярной плоскости указанного рисунка.

На рисунке 2, чтобы не загромождать схему, не указаны как объективы схемы на рисунке 2, так и два дополнительных объектива, соответствующие дополнительным зеркалам 5, 6 (при этом, очевидно, фокусы дополнительных объективов должны совпадать с точкой A (рис. 3б)). На этой схеме [2] отрезки между элементами 1, 3, 4, 5 лежат в одной плоскости (ZOY). Соответственно, взаимно перпендикулярные отрезки между элементами 1 и 3, 4 и 5, 6 и 7 можно принять в качестве осей координат OX , OY , OZ .

Положим, что в области пересечения пучков частица расположена так же, как и на рисунке 2б. Тогда схема второго разворота (зеркала 5, 6 с соответствующими объективами) переносит в область потока 2 второе изображение частицы и изображение ее первого изображения. В плоскость регистрации (рис. 3б) эти изображения переносятся соответствующим объективом видеокамеры. При этом общему фокусу объективов – точке A (рис. 2б) – соответствует точка A ».

Следует отметить, что изображение 10 есть проекция частицы на плоскость XOZ , а изображение 11 – проекция на плоскость YOZ . Одновременно объектив видеокамеры строит в плоскости регистрации третье изображение 9 частицы, соответствующее ее проекции на плоскость XOY (это изображение формируется световым пучком, распространяющимся вдоль оси OZ).

Таким образом, в плоскости регистрации имеется три проекции частицы – «вид прямо», «вид сверху», «вид сбоку». При этом, поскольку частица смещена относительно осей OX , OY , на расстояния, превосходящие соответствующие размеры частиц, то все три изображения пространственно разнесены. При совпадении частицы с общим фокусом объективов все три изображения наложатся друг на друга в окрестности точки A », но, как и для схемы на рисунке 2, этого наложения можно избежать соответствующей юстировкой зеркал.

Очевидно, что и в этой схеме возможно ограничение счетного объема допустимой глубиной резкости, используя в качестве критерия либо расстояние между изображениями, либо соотношение размеров различных проекций по одной и той же оси координат.

При соответствующей обработке изображений в блоке 8, особенно легко реализуемой с помощью ПЭВМ (ПО MATLAB или NI Vision Builder), нетрудно найти как площадь каждого изображения, так и длину

его проекций на взаимно перпендикулярные оси координат, указанные на рисунке 3. Следовательно, можно вычислить и все три главных размера частиц, пролетающих через счетный объем.

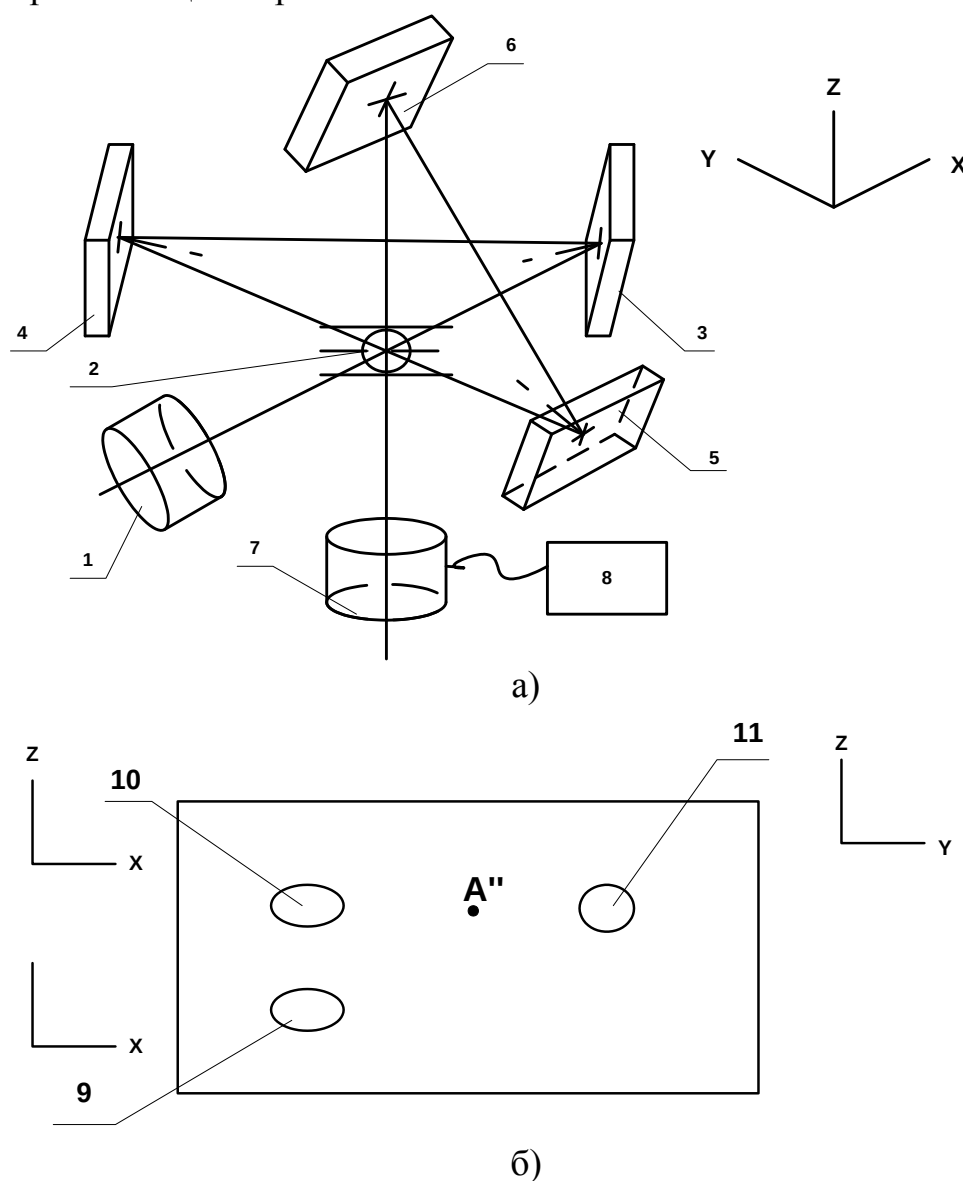


Рис. 3. Формирование проекций частицы на три взаимно перпендикулярные плоскости:

- 1 – осветитель; 2 – поток частиц; 3, 4, 5, 6 – зеркала; 7 – видеокамера;
8 – блок обработки; 9 – третье изображение частицы;
10 – изображение первого изображения; 11 – изображение второго изображения

Функциональная схема разработанного лабораторного анализатора, использующего разработанные оптические схемы (рис. 2, 3), показана на рисунке 4. Совместно с лабораторией лазерного дистанционного зондирования аэрозолей (НПО «Тайфун» г. Обнинск) была реализована схема по рисунку 2 телевизионного анализатора АРФА (анализатор размера и формы аэрозолей), изображенного на рисунке 5.

Динамический ввод аэрозолей в область контроля осуществляется прокачкой кюветой с шириной канала 1,5 мм и вакуумным насосом. Скорость прокачки подбирается программно ПЭВМ так, чтобы в каждый кадр видеосигнала попадало не более 1 частицы (50 частиц в секунду), для чего в функциональную схему телевизионного анализатора (рис. 4) введен фотоэлектрический счетчик частиц пыли (ФЭС), сопряженный через плату ввода вывода NI PCI-6024 с ПЭВМ. Программа LabVIEW проводит амплитудный и частотный анализ входного сигнала с ФЭС с целью оперативного (предварительного) выявления размеров частиц. Сформированный программой сигнал управления поступает с ПЭВМ и плату ввода вывода NI PCI-6024 для управления скоростью прокачки (вакуумным насосом) и фокусировкой объектива видеокамеры телевизионного анализатора.

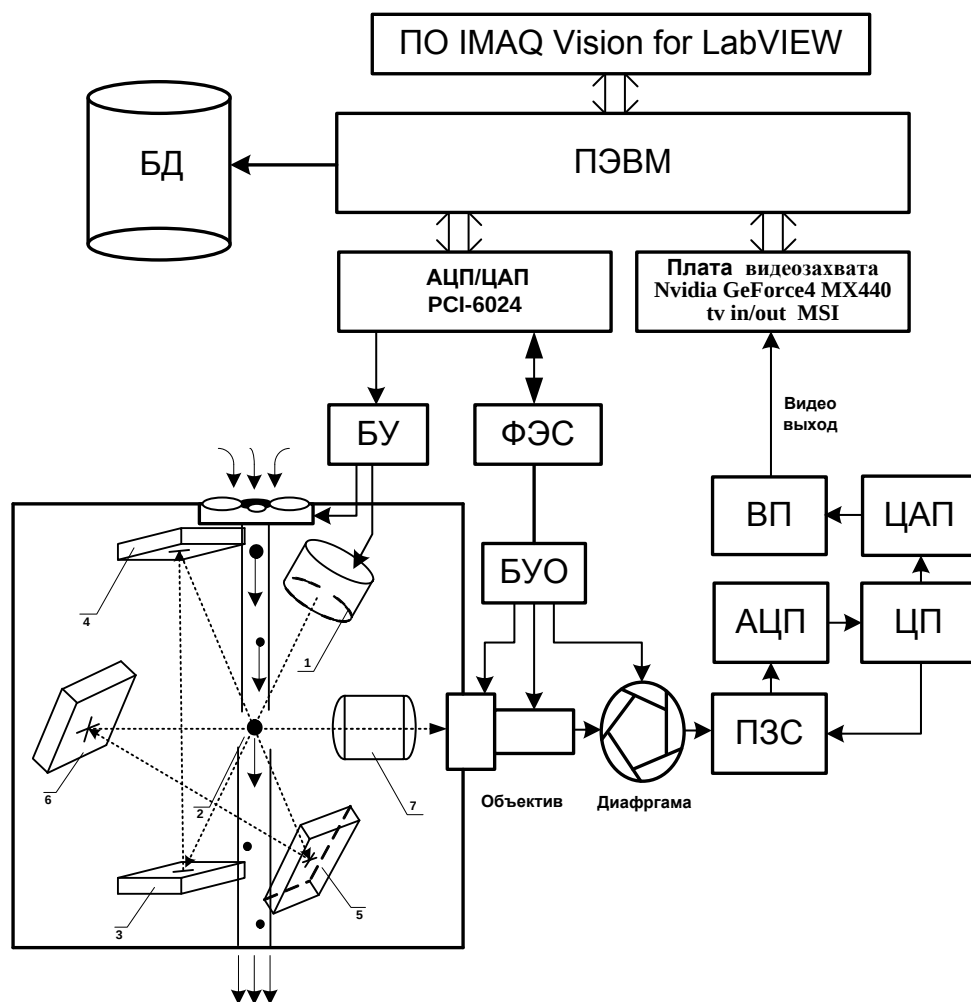


Рис. 4. Функциональная схема разработанного телевизионного анализатора:

1 – лазерный осветитель; 2 – поток частиц; 3, 4, 5, 6 – зеркала; 7 – микролинза;

БУ – блок управления вентилятором и лазерным излучателем;

ФЭС – фотоэлектрический счетчик (ФЭС-1); БУО – блок управления объективом (моторами фокусировки, трансфокатора и диафрагмы) видеокамеры;

ПЗС – видеосенсор (прибор с зарядовой связью); АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ЦП – центральный процессор; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; ВП – видеопроцессор; БД – база данных 60 параметров частиц



Рис. 5. Внешний вид анализатора АРФА

Следует отметить, что в предлагаемом анализаторе нижний предел измерений по размерам (определяемый разрешающей способностью формирующей оптики) составляет примерно 1 мкм, а верхний предел измерений по концентрации может составлять 10^5 см^{-3} .

В настоящее время авторами работы проводится усовершенствование алгоритмов обработки анализатора и разработка специализированного программного обеспечения для моделирования и разработки оптико-электронных датчиков, использующего получаемую обширную базу данных о размерах, форме и цвете аэрозолей (около 60 параметров для одной частицы).

Таким образом, предлагаемый в работе анализатор позволяет определять и хранить параметры промышленных аэрозолей, необходимые для моделирования, расчета и градуировки оптико-электронных датчиков контроля аэрозолей (запыленности). Используя полученные при помощи анализатора данные, можно достаточно быстро перенастраивать существующие датчики под конкретный вид промышленных аэрозолей. Это позволяет сократить сроки разработки оптико-электронных датчиков и расширить диапазон их применения.

Библиографический список

1. Беляев, С.П. Оптоэлектронные методы изучения аэрозолей [Текст] / С.П. Беляев, Н.К. Никифорова, В.В. Смирнов. – М. : Энергоиздат, 1981. – 232 с.
2. Семенов, В.В. Телевизионный анализатор промышленных аэрозолей в атмосфере рабочей зоны [Текст] / В.В. Семенов [и др.] // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, (Спецвыпуск). – 2004. – С. 60–61.

3. Коломиец, С.М. Анализатор размеров и формы аэрозолей «АРФА» [Текст] / С.М. Коломиец // Оптика атмосферы и океана. – 1999. – Т. 12, № 6. – С. 553–555.

УДК 535.375:551.521
Безуглов Д.А., Сахаров И.А.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ ГИБРИДНОГО (СМЕШАННОГО) ДАТЧИКА ВОЛНОВОГО ФРОНТА

Разработана новая гибридная (смешанная) структура датчика волнового фронта, использующего для аппроксимации базис полиномов Цернике с использованием полярной системы координат. Предложено новое смешанное расположение датчиков волнового фронта, измеряющих тангенциальные и радиальные составляющие одновременно, а также учтена связь декартовой и полярной системы координат, что позволило существенно повысить точностные характеристики восстановления волнового фронта.

Введение. Одним из наиболее эффективных (иногда в сочетании с другими) способов ослабления возмущающего действия атмосферы на работу оптической системы является применение адаптивных методов и систем. Идеи, положенные в основу создания адаптивных систем, предложены сравнительно недавно [1].

При создании адаптивных оптических систем волнового сопряжения проводят, как правило [4, 5], косвенные измерения волнового распределения на апертуре адаптивной оптической системы. Затем эти измерения одним из численных методов пересчитывают в базис функций отклика гибкого зеркала. При этом каждому из известных алгоритмов, как правило, присущи свои достоинства и недостатки, однако конечные характеристики разрабатываемых на их основе датчиков волнового фронта зависят от конкретной технической реализации последних. В связи с этим интерес к дальнейшему совершенствованию таких устройств не ослабевает.

Целью настоящей работы является разработка гибридного (смешанного) датчика волнового фронта, использующего для аппроксимации базис полиномов Цернике.

1. Алгоритм восстановления волнового фронта

Хорошо известный гартмановский тест [1], предложенный первоначально для контроля телескопической оптики, был в дальнейшем использован для адаптивной оптики и является наиболее часто применяемым типом датчика волнового фронта.

Следует отметить, что универсальным разложением волнового фронта, отвечающим ряду условий оптимальности, является разложение Карунен – Лоэва [1]. Оно характеризуется следующими свойствами, обуславливающими его оптимальность: минимальной среднеквадратической ошибкой при удержании заданного числа членов в бесконечном ряде разложения, получением наибольшего по сравнению с любым другим разложением

количества информации о представляемой усеченным рядом функции, какое бы число членов ряда ни удерживалось, а также некоррелированностью коэффициентов разложения, что упрощает дальнейшее использование результатов разложения и их анализ. Однако в силу того, что аналитическое такое разложение трудно представимо, для практических целей обычно [1] используют систему полиномов Цернике, достаточно близких к ним.

Для аппроксимации функций отклика гибкого адаптивного зеркала [8] используем систему полиномов Цернике, ортогональных (ортонормированных) внутри единичной окружности или окружности радиусом R , представленных в полярных координатах r, θ [1, 6]:

$$Z_j(r, \theta) = \begin{cases} \sqrt{n+1} R_n^m(r) \sqrt{2} \cos m\theta & \text{для чётных полиномов и } m \neq 0 \\ \sqrt{n+1} R_n^m(r) \sqrt{2} \sin m\theta & \text{для нечётных полиномов и } m \neq 0 \\ \sqrt{n+1} R_n^0(r) & \text{для } m = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где $\int_0^{2\pi} \int_0^1 Z_j(r, \theta) Z_j(r, \theta) dr d\theta = \delta_j$, $R_n^m(r) = \sum_{s=0}^{(n-m)/2} \frac{(-1)^s (n-s)! r^{n-2s}}{s! [(n+m)/2 - s]! [(n-m)/2 - s]!}$.

Величины n и m всегда целые и удовлетворяют условию $n \leq m$, $n - |m| =$ чётно. Индекс j является порядковым номером моды и зависит от n и m . Условие ортогональности в круге единичного радиуса имеет вид:

где $W(r) = \begin{cases} 1/\pi & \text{при } |r| \leq 1 \\ 0 & \text{при } |r| > 1 \end{cases}$, δ_j – символ Кронекера. (2)

Волновой фронт, измеренный датчиком, в базисе Цернике имеет следующий вид:

$$\Phi_{изм}(r, \theta) = \sum_{j=1}^N Z_j(r, \theta) c_j, \quad (3)$$

где c_j – коэффициенты разложения волнового фронта по полиномам Цернике (сигналы с выхода датчика волнового фронта), число полиномов N в разложении определяют с помощью выражения:

$$N = \left\lceil \left(\frac{-0,2944(D/r_0)^{\frac{5}{3}}}{\ln St} \right)^{\frac{2}{\sqrt{3}}} \right\rceil, \quad (4)$$

где D – диаметр апертуры; r_0 – радиус когерентности; St – число Штреля.

При этом в известных устройствах подлежат измерению с помощью квадрантных фотоприемников [2, 3, 4, 5] локальные наклоны волнового фронта в точках апертуры, пропорциональные величинам вида $\frac{\partial \Phi(x_i, y_j)}{\partial x}$,

$\frac{\partial \Phi(x_i, y_j)}{\partial y}$, где $i = \overline{1, K}$; $j = \overline{1, K}$; $L \times K$ – количество квадрантных фотоприемников датчика, $\Phi(x_i, y_j)$ – значения фазы на апертуре датчика. Затем эти измерения одним из численных методов пересчитывают в значения фазы $\Phi(x_i, y_j)$ или коэффициенты a_j и используют для организации управления в контуре обратной связи адаптивной оптической системы.

В предлагаемом методе подлежат измерению не локальные наклоны в плоскостях x и y , пропорциональные соответствующим производным, а тангенциальные локальные наклоны, пропорциональные величинам вида $\frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)_{изм}}{\partial \theta}$, и радиальные наклоны, пропорциональные соответственно

величинам вида $\frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)_{изм}}{\partial r}$, $i = \overline{1, M}$. Для измерения этих величин

предлагается использовать двухплощадные фотоприемники, расположенные в точках апертуры на концентрических окружностях, при этом граница раздела двухплощадных фотоприемников совпадает с радиусом соответствующей окружности или перпендикулярна ему (рис.1) [7].

Тогда решение задачи восстановления волнового фронта можно рассмотреть в следующей постановке. Пусть датчик Гартмана измеряет величины, пропорциональные локальным наклонам волнового $\frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)_{изм}}{\partial \theta}$

и $\frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)_{изм}}{\partial r}$ в точках с координатами r_i, θ_i , при этом координаты точек

r_i, θ_i могут быть выбраны, в принципе, произвольно.

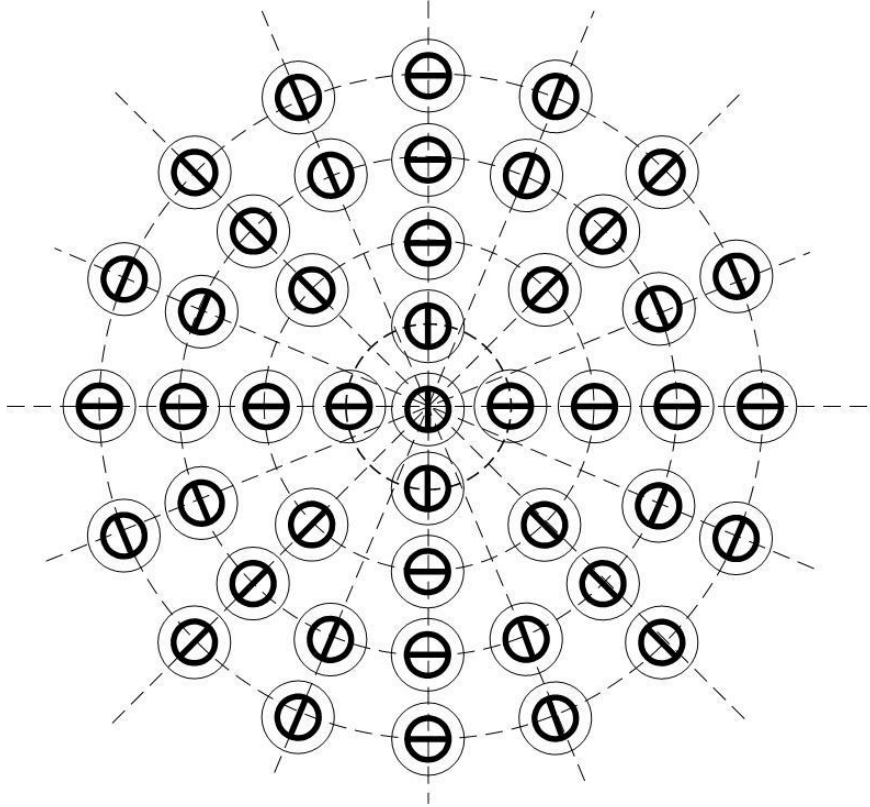


Рис. 1. Расположение фотоприемников на апертуре гибридного (смешанного) датчика волнового фронта

Для реконструкции фазы применим метод наименьших квадратов. Соответствующая квадратичная форма метода наименьших квадратов в этом случае будет иметь следующий вид:

$$J = \sum_{i=0}^F \left(\frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)_{\text{изм}}}{\partial \theta} - \frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)}{\partial \theta} \right) \cdot \left(\frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)_{\text{изм}}}{\partial \theta} - \frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)}{\partial \theta} \right)^T +$$

$$+ \sum_{i=F}^M \left(\frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)_{\text{изм}}}{\partial r} - \frac{\partial Z_j(r_i, \theta_i)}{\partial r} \right) \cdot \left(\frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)_{\text{изм}}}{\partial r} - \frac{\partial Z_j(r_i, \theta_i)}{\partial r} \right)^T, \quad (5)$$

где M – общее число точек измерений волнового фронта (фотоприемников), F – число точек измерений тангенциальных локальных наклонов.

Выражения для истинных значений градиента фазы можно представить в следующем виде:

для тангенциальных значений

$$\frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)}{\partial \theta} = \frac{\partial}{\partial \theta} \sum_{j=1}^N a_j Z_j(r_i, \theta_i) = \sum_{j=1}^N a_j \frac{\partial Z_j(r_i, \theta_i)}{\partial \theta}, \quad (6)$$

для радиальных значений аналогично.

Для вычисления в явном виде значений выражения (6) следует использовать выражение (1). Подставив (6) в (5), получим:

$$J_1 = \sum_{i=0}^F \left(\frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{\partial \theta} - \sum_{j=1}^N a_j \frac{\partial Z_j(r_i, \theta_i)}{\partial \theta} \right) \cdot \left(\frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{\partial \theta} - \sum_{k=1}^N a_k \frac{\partial Z_k(r_i, \theta_i)}{\partial \theta} \right)^T +$$

$$+ \sum_{i=F}^M \left(\frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{\partial r} - \sum_{j=1}^N a_j \frac{\partial Z_j(r_i, \theta_i)}{\partial r} \right) \cdot \left(\frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{\partial r} - \sum_{k=1}^N a_k \frac{\partial Z_k(r_i, \theta_i)}{\partial r} \right)^T \quad (7)$$

Значения коэффициентов a_j найдем из M линейных уравнений, приравняв к нулю частные производные квадратичной формы J по a_j :

$$\frac{\partial J}{\partial a_j} = 0; \quad B \cdot A = C, \quad (8)$$

где B – матрица с коэффициентами

$$b_{k,j} = \sum_{i=0}^F \frac{\partial Z_j(r_i, \theta_i)}{\partial \theta} \frac{\partial Z_k(r_i, \theta_i)}{\partial \theta} + \sum_{i=F}^M \frac{\partial Z_j(r_i, \theta_i)}{\partial r} \frac{\partial Z_k(r_i, \theta_i)}{\partial r};$$

A – вектор-строка искоемых коэффициентов полиномов Цернике a_j ;

C – вектор-столбец правой части

$$c_j = \sum_{i=0}^M \frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{\partial \theta} \frac{\partial Z_j(r_i, \theta_i)}{\partial \theta} + \sum_{i=0}^M \frac{\partial \Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{\partial r} \frac{\partial Z_j(r_i, \theta_i)}{\partial r}, \quad k, j = 1, N.$$

Решение системы (8) будет иметь следующий вид:

$$A = B^{-1} \cdot C. \quad (9)$$

Следует отметить, что, как показали исследования, структура матрицы B^{-1} (местоположение в ней нулевых и ненулевых элементов) остается неизменной при произвольном выборе точек расположения двухплощадных фотоприемников. При этом изменяются только значения этих элементов.

Таким образом, для заданной конфигурации точек матрицы B^{-1} могут быть рассчитаны заранее, а алгоритм вычисления коэффициентов разложения в базисе Цернике вектора A сводится к вычислению вектора правой части C и матричному умножению на матрицу B^{-1} .

2. Оптимизация топологии датчика волнового фронта

При технической реализации датчика волнового фронта, произвольный выбор мест расположения фотоприемников, приводит к тому, что в этих каналах отношение сигнал/шум значительно меньше, чем в других, что обуславливает существенное ухудшение технических характеристик датчика волнового фронта.

Исследования показали, что величина данных весовых коэффициентов зависит от расположения фотоприемников. Оптимальное расположение фотоприемников следует выбирать с учетом максимума следующего критерия [9]. Для тангенциального датчика волнового фронта

$$J_3 = \max \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial Z_i(r, \theta)}{\partial \theta} \right)^2, \quad (10)$$

для радиального датчика волнового фронта

$$J_4 = \max \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial Z_i(r, \theta)}{\partial r} \right)^2. \quad (11)$$

Рассмотрим пример оптимизации топологии тангенциального датчика волнового фронта.

По формуле (4) определяем число полиномов Цернике. Так, например, $D=0,05\text{м}$, $L=5\text{ км}$, максимальное значение M в соответствии с (4) не превышает $12 \div 16$. В нашем случае примем $N=16$.

Для выбора координат оптимального расположения двухплощадных фотоприемников, расположенных в точках апертуры на концентрических окружностях радиуса r , используем критерий (10). На рисунке 2 точки a, b, c, d являются оптимизированными полярными координатами расположения фотоприемников датчика на окружности $r_1=0,2$ и точки $e, f, g, h, i, j, k, l, m, n$, которые являются координатами расположения фотоприемников датчика на окружности $r_4=0,8$.

Далее аналогично выбираются оптимизированные координаты для расположения квадрантных фотоприемников на окружностях $r_2=0,4$, $r_3=0,6$, $r_5=1$.

В итоге мы получаем оптимизированную топологию тангенциального датчика волнового фронта.

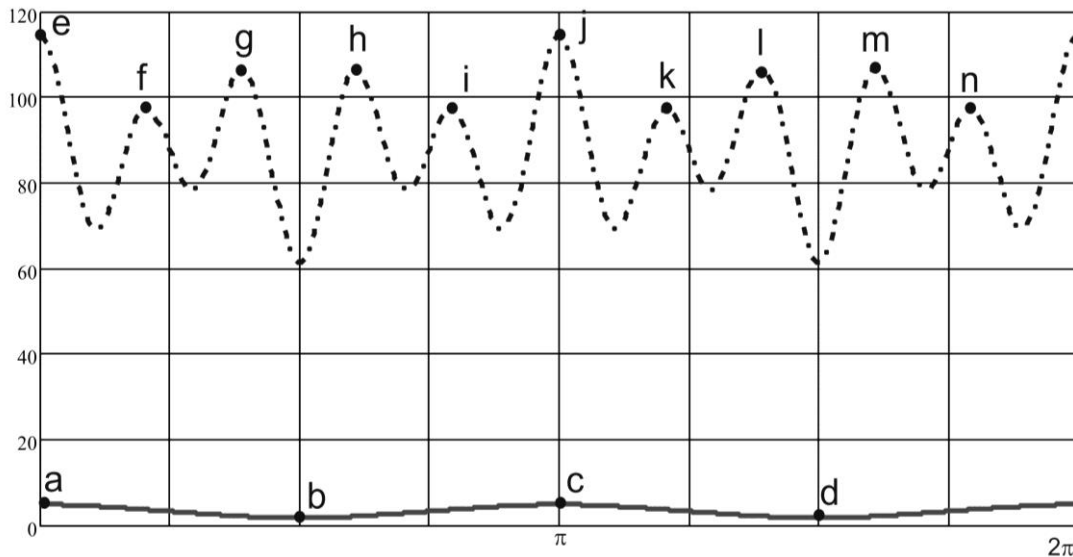


Рис. 2. Выбор оптимального расположения фотоприемников датчика

Рассуждая аналогично, оптимизируем топологию радиального датчика волнового фронта, используя критерий (11), как показано на рисунке 3.

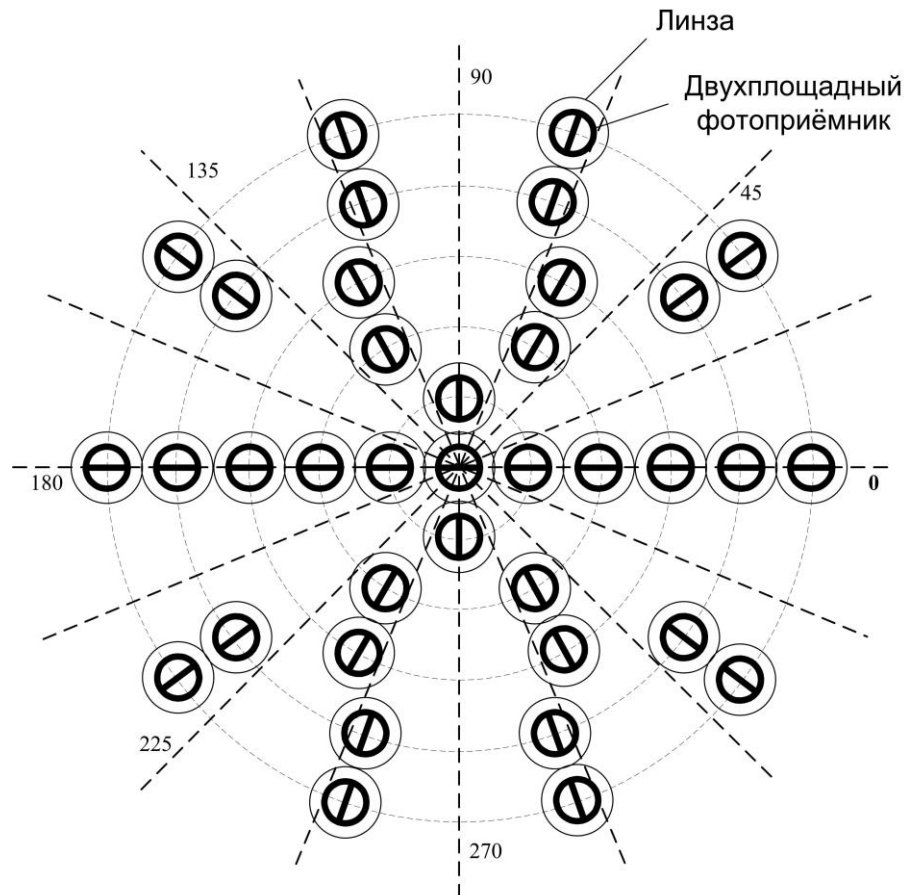


Рис. 3. Оптимизированное расположение тангенциальных датчиков на апертуре

После оптимизации координат расположения фотоприемников радиальных и тангенциальных датчиков, совмещаем два типа датчиков на одну систему координат. В итоге нами был получен оптимизированный гибридный (смешанный) датчик волнового фронта.

Следует отметить, что с учетом того, что на практике часто используют сетку квадрантных фотоприемников, предложенный алгоритм восстановления волнового фронта также может быть использован с учетом того, что:

$$\frac{\partial \Phi(x, y)}{\partial r} = \frac{\partial \Phi(r \sin \theta, r \cos \theta)}{\partial r} = \frac{\partial \Phi}{\partial x} \sin \theta + \frac{\partial \Phi}{\partial y} \cos \theta, \quad (12)$$

$$\frac{\partial \Phi(x, y)}{\partial \theta} = \frac{\partial \Phi(r \sin \theta, r \cos \theta)}{\partial \theta} = \frac{\partial \Phi}{\partial x} r \cos \theta - \frac{\partial \Phi}{\partial y} r \sin \theta. \quad (13)$$

В выражениях (12), (13) учтена связь декартовой и полярной системы координат.

Выводы. В настоящей работе предложен новый алгоритм восстановления волнового фронта в базисе Цернике с использованием полярной системы координат. Разработана новая структурная схема датчика волнового фронта. Разработан метод оптимизации топологии датчика волнового

фронта, позволяющий существенно повысить точностные характеристики датчика волнового фронта. Введены критерии оптимизации топологии датчика волнового фронта (12, 13), что позволило существенно повысить точность восстановления волнового фронта. Проведенный анализ результатов математического моделирования показал, что удалось существенно повысить технические характеристики датчика волнового фронта.

Библиографический список

1. Воронцов, М.А. Принципы адаптивной оптики [Текст] / М.А. Воронцов, В.И. Шмальгаузен. – М. : Наука, 1985. – 336 с.
2. Безуглов, Д.А. Метод сплайн-аппроксимации в задаче восстановления волнового фронта [Текст] / Д.А. Безуглов, Е.Н. Мищенко // Известия РАН. Серия физическая, № 12. – 1992. – С. 156–160.
3. Безуглов, Д.А. Адаптивные оптические системы. Методы восстановления волнового фронта, разработка структур систем и новой элементарной базы [Текст] / Д.А. Безуглов, Е.Н. Мищенко, С.Е. Мищенко // Оптика атмосферы и океана, № 3. – 1995 (обзор). – С. 364–380.
4. Дегтярев, Г.Л. Модальный датчик волнового фронта [Текст] / Г.Л. Дегтярев, А.В. Маханько, С.М. Чернявский, А.С. Чернявский // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – № 12. – С. 1078–1083.
5. А.с. 1720051 СССР, МКИ5 G 02 В 26/06. Датчик волнового фронта / Д.А. Безуглов, Е.Н. Мищенко, М.И. Крымский, О.В. Серпенинов. – Оpubл. в БИ. – 1992. – № 10.
6. Noll R.J. Zernike polynomials and atmospheric turbulence / R.J. Noll // J. Opt. Soc. Amer. – 1976. – V66. – P. 207–211.
7. Безуглов, Д.А. Свидетельство № 2008610021 о государственной регистрации программы для ЭВМ от 09.01.2007 г. «Алгоритм оптимизации топологии датчика фазового фронта» / Безуглов Д.А., Сахаров И.А.
8. Безуглов, Д.А. Полиномы Цернике в задачи восстановление фазового фронта датчиками тангенциального и радиального типов [Текст] / Д.А. Безуглов, И.В. Решетникова, И.А. Сахаров // Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. тр. – Вып. 1. – Ростов н/Д. : РГПУ, 2006.
9. Безуглов, Д.А. Метод оптимизации топологии датчика волнового фронта [Текст] / Д.А. Безуглов, И.В. Решетникова, И.А. Сахаров // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – № 11.

РАЗДЕЛ 4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 621.01

Валюкевич Ю.А., Наумов И.И., Алепко А.В.

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ДВУХЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА С ПОВЫШЕННЫМИ СИЛОМОМЕНТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

В работе рассмотрена кинематическая схема двухзвеного манипулятора с повышенными силомоментными характеристиками, предназначенная для реализации устройства контактной обработки плоских материалов. Приведена математическая модель манипулятора, и отмечены основные ее отличия от традиционной. На основе этой модели разработана компьютерная модель, в которой реализован алгоритм управления движением подвижного конца двухзвеного манипулятора по заданной траектории. Представлена структурная схема устройства управления механизмом для контактной обработки материала на базе рассматриваемого манипулятора.

Традиционно для обеспечения линейного перемещения рабочего инструмента по сложному контуру относительно обрабатываемого изделия по двум координатам для раскроя или обработки заготовки с целью получения изделия сложной формы применяются координатные столы. В основе кинематики таких механизмов заложен принцип преобразования вращательного движения электроприводов в поступательное движение рабочего стола или рабочего инструмента.

В настоящей работе предложена схема устройства раскроя плоских материалов на основе двухзвеного манипулятора, непосредственно преобразующего два вращательных движения в перемещение инструмента по заданному контуру как для силомоментной, так и для бесконтактной обработки материалов.

Кинематическая схема предлагаемого манипулятора, представленная на рисунке 1, содержит круглый диск, вращающийся относительно вертикальной оси, и инструментальную штангу, соединенную с круглым диском с возможностью вращения вокруг точки крепления H , расположенной на краю диска, и инструмента, закрепленного на конце штанги в точке $P(t)$.

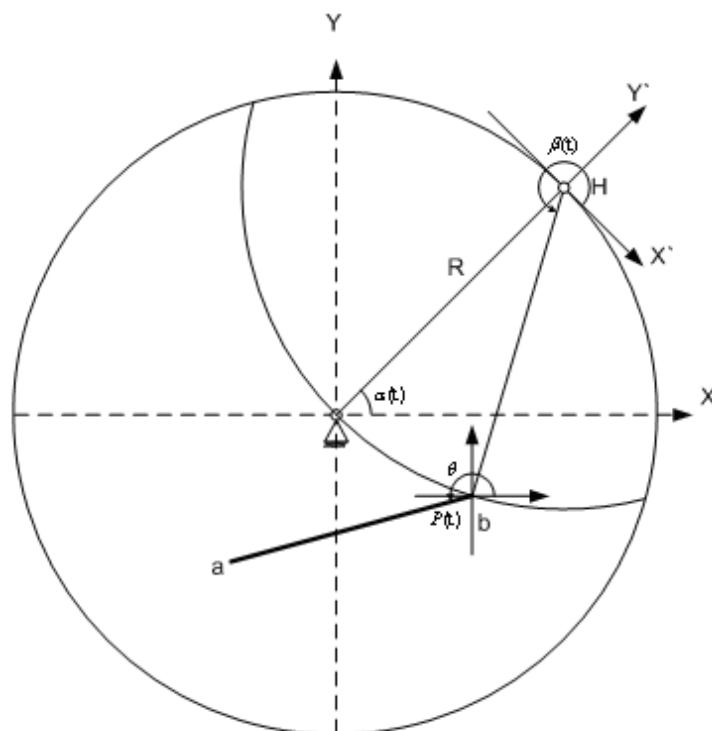


Рис. 1. Кинематическая схема устройства

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:

- $P(t)$ – рабочая точка с координатами $x(t), y(t)$ в основной (неподвижной) системе координат x, y и $x_2(t), y_2(t)$ в дополнительной системе координат x', y' ;
- $\alpha(t)$ – угол поворота диска относительно основной системы координат;
- $\beta(t)$ – угол поворота штанги относительно дополнительной системы координат;
- a, b – концы отрезка ab , который должна проходить точка $P(t)$;
- θ – угол наклона отрезка ab ;
- R – радиус диска и длина штанги.

С целью получения отрезка прямой линии, произвольно расположенного на поверхности рабочего стола, рассмотрим задачу формирования управляющих воздействий для координат $\alpha(t)$ и $\beta(t)$, решение этой задачи позволит реализовать алгоритм управления механизмом, воспроизводящим произвольный контур.

На основании представленной кинематической схемы можно заключить, что предлагаемая конструкция относится к классу двухзвенных манипуляторов. Отличие от традиционных схем состоит в том, что одно из звеньев представляет собой диск, а доступная область ограничена его радиусом. При этом доступна любая точка внутри окружности, что является отличительной особенностью данного манипулятора.

Угловые координаты любой из множества точек, принадлежащих отрезку прямой a, b (как и любому другому отрезку, расположенному на поверхности рабочего стола), могут быть определены из соотношений (1), (2).

$$\begin{cases} \beta(t) = \text{Arcsin}\left(\frac{x^2(t) + y^2(t)}{2R^2} - 1\right) \\ \alpha(t) = \text{Arccos}\left(\frac{x(t)\sin\beta(t) + x(t) - \cos\beta(t)y(t)}{2R(\sin\beta(t) + 1)}\right), \\ \alpha(t) = \text{Arcsin}\left(\frac{x(t)\cos\beta(t) + \sin\beta(t)y(t) + y(t)}{2R(\sin\beta(t) + 1)}\right) \end{cases} \quad (1)$$

т.к. $\beta(t)$ может принимать любое значение (ограничения в нашем случае накладываются только областью изменения $x(t)$ и $y(t)$), то любому значению аргумента арксинуса будут соответствовать два угла, вычисляемых по формуле для периода арксинуса:

$$\text{Arcsin}\left(\frac{x^2(t) + y^2(t)}{2R^2} - 1\right) = (-1)^n \arcsin\left(\frac{x^2(t) + y^2(t)}{2R^2} - 1\right) + \pi n, \quad (2)$$

где $n=0, 1, 2, \dots$

Угол $\alpha(t)$ определяется однозначно, поскольку были получены выражения и через Arcsin и через Arccos .

Выявленная неоднозначность соответствия углов α и β точкам на плоскости (одна точка может быть задана двумя парами углов) позволяет уменьшить изменения углов α и β при перемещении рабочего инструмента к точке начала обработки, но при этом возникает необходимость введения алгоритма выбора пары углов при перемещении. Для этого рассчитываются выражения для угла $\beta(t)$ при $n=0$ и $n=1$ и выбирается пара углов, при которой перемещение минимально.

Следует отметить, что в точке $[0;0]$ существует неопределенность при нахождении $\alpha(t)$, которая также решается путем выбора угла, требующего минимального перемещения, но при этом необходимо задаться следующей точкой на траектории.

Уравнения для угловых скоростей $\omega_\alpha(t)$ и $\omega_\beta(t)$ соответствуют производным выражений для $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ по времени:

$$\beta'(t) = \frac{1}{R^2 \sqrt{1 - \left(\frac{x^2(t) + y^2(t)}{2R^2} - 1\right)^2}} \cdot (x(t)x'(t) + y(t)y'(t)), \quad (3)$$

$$\alpha'(t) = \frac{1}{2R \sqrt{1 - \left(\frac{x(t)\cos\beta(t) + y(t)(\sin\beta(t) + 1)}{2R(1 + \sin\beta(t))}\right)^2}} \cdot \left(\frac{x(t)\cos\beta(t) + y(t)(\sin\beta(t) + 1)}{(1 + \sin\beta(t))}\right)' \quad (4)$$

Полученные соотношения (1, 2, 3, 4) справедливы для любой траектории движения рабочей точки. Предположим, что рабочая точка должна двигаться по прямой ab с постоянной линейной скоростью v . Вектор скорости в таком случае совпадает с направлением движения рабочей точки, и пройденное расстояние определяется по формуле: $S(t) = vt$.

Уравнения $x(t)$ и $y(t)$ для подстановки в полученные соотношения (1, 2) или (3, 4) в этом случае будут выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned}x'(t) &= v \cos \theta \\ y'(t) &= v \sin \theta\end{aligned}\quad (5)$$

где x_0 и y_0 – координаты точки начала движения.

Производные для подстановки в полученные соотношения для угловых скоростей:

$$\begin{aligned}x'(t) &= v \cos \theta \\ y'(t) &= v \sin \theta.\end{aligned}\quad (6)$$

Таким образом, при использовании данной математической модели получена зависимость между необходимым изменением декартовых координат точки на поверхности материала при перемещении манипулятора и полярных координат его звеньев. На основании этой модели на языке C++ была создана программа (рис. 2), моделирующая данное устройство с учетом дискретного изменения углов α и β , что обусловлено применением шаговых двигателей в реальном устройстве.

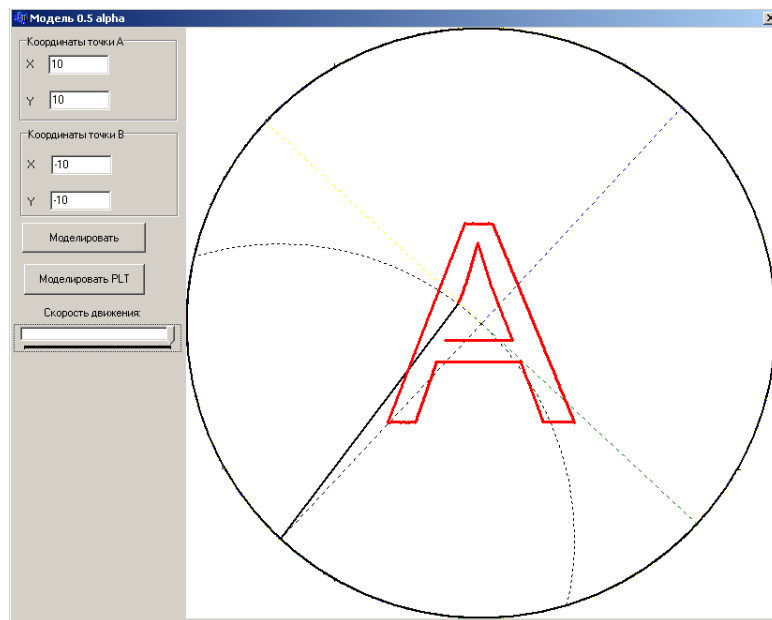


Рис. 2. Пример работы программы

Для управления данным устройством может быть использована схема управления со структурой, показанной на рисунке 3.

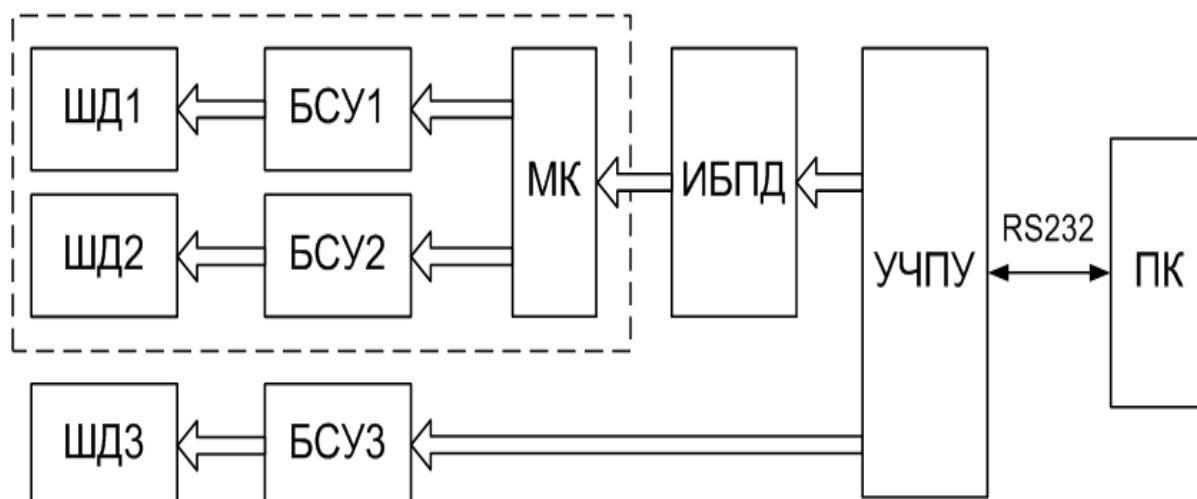


Рис. 3. Структурная схема системы управления:
 ШД1, ШД2, ШД3 – шаговые электроприводы; БСУ1, БСУ2, БСУ3 – блоки силового управления; МК – микроконтроллер;
 ИБПД – интерфейс беспроводной передачи данных;
 УЧПУ – блок устройства числового программного управления;
 ПК – управляющий персональный компьютер

На рисунке 3 блоки, выделенные пунктиром, находятся на подвижной части конструкции, в связи с этим возникает необходимость в передаче управляющих импульсов на блоки силового управления путем беспроводной передачи данных (оптический или радиоканал), с этим связано наличие микроконтроллера, функция которого заключается в получении информации от блока беспроводной передачи данных и преобразования ее в сигналы управления для силового блока. Питание силового электрооборудования и системы управления осуществляется с помощью скользящих контактов.

При реализации УЧПУ на базе микроконтроллера семейства ARM или DSP-процессора разработанный код модели достаточно просто может быть адаптирован в качестве управляющей программы для манипулятора.

Библиографический список

1. Василенко, Н.В. Основы робототехники [Текст] / Н.В. Василенко, К.Д. Никитин, В.П. Пономарев, А.Ю. Смолин. – Томск : МГП РАСКО, 1993. – С. 467.
2. Кошкин, В.Л. Аппаратные системы числового программного управления [Текст] / В.Л. Кошкин. – М. : Машиностроение, 1989. – 248 с. : ил.

УДК 621.01

Валюкевич Ю.А., Толстунов О.Г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ТРОСОВОГО ГРУЗОПОДЪЕМНОГО МЕХАНИЗМА В СРЕДЕ МАТЛАВ

В работе рассмотрена кинематическая схема тросового грузоподъемного механизма, предназначенного для перемещения различных объектов в пространстве. Приведена математическая модель грузоподъемного механизма и отмечены ее основные отличия от традиционных типов подъемных устройств. На основе этой модели разработана компьютерная модель, в которой реализован алгоритм управления движением объекта перемещения тросового грузоподъемного механизма по заданной траектории. Графически представлен закон изменения длины тросов при движении объекта перемещения в пространстве по заданной траектории.

Введение. В настоящее время для перемещения объектов в пространстве используют различные типы подъемных механизмов, такие как башенные краны, мостовые краны, стреловые краны, манипуляторы и другие сооружения. Однако недостатком большинства подъемных механизмов является сложность их практического исполнения, большая масса и наличие необслуживаемой зоны в месте установки таких подъемных механизмов.

Учитывая вышеперечисленные недостатки большинства типов подъемных механизмов, в настоящей работе предлагается тросовый грузоподъемный механизм, обладающий простотой практического исполнения, небольшой массой и отсутствием необслуживаемой зоны.

Цель данной работы состоит в математическом описании и создании кинематической модели тросового грузоподъемного механизма.

Описание кинематики

Кинематическая схема тросового грузоподъемного механизма, состоящего из четырех тросов, представлена на рисунке 1.

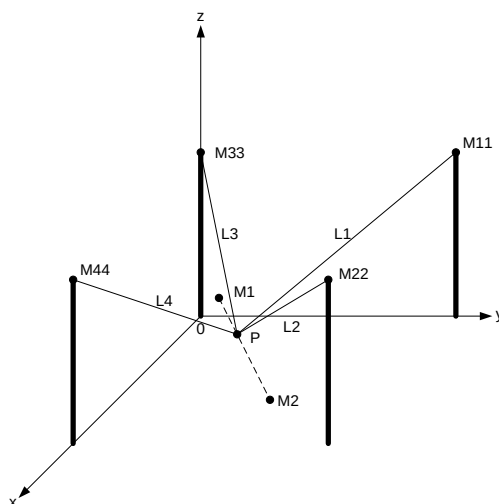


Рис. 1. Кинематическая схема тросового грузоподъемного механизма

Предлагаемый грузоподъемный механизм содержит четыре вертикальные опоры, установленные в точках $M11(x11; y11; z11)$, $M22(x22; y22; z22)$, $M33(x33; y33; z33)$, $M44(x44; y44; z44)$, в которых на барабанах с электроприводом (на рисунке 1 не показаны) укреплены первые концы тросов. Вторые концы тросов соединяются в точке $P(x; y; z)$, перемещающейся в пространстве по заданной линейной траектории. Траектория перемещения точки $P(x; y; z)$ задается двумя точками в пространстве, точкой $M1$ с координатами $(x1; y1; z1)$ и точкой $M2$ с координатами $(x2; y2; z2)$. При таком задании траектории движения точка $P(x; y; z)$ будет перемещаться из точки $M1(x1; y1; z1)$ в точку $M2(x2; y2; z2)$, за счет изменения длин тросов $L1, L2, L3, L4$. Изменение длин тросов осуществляется посредством намотки (смотки) тросов на барабаны, устанавливаемые на каждой из опор.

Для определения зависимости длины тросов $L1, L2, L3, L4$ от положения точки $P(x; y; z)$ в пространстве, найдем расстояние от точки $P(x; y; z)$ до каждой из точек $M11(x11; y11; z11)$, $M22(x22; y22; z22)$, $M33(x33; y33; z33)$, $M44(x44; y44; z44)$:

$$\overline{M11P} = \sqrt{(x11 - x)^2 + (y11 - y)^2 + (z11 - z)^2}, \quad (1)$$

$$\overline{M22P} = \sqrt{(x22 - x)^2 + (y22 - y)^2 + (z22 - z)^2}, \quad (2)$$

$$\overline{M33P} = \sqrt{(x33 - x)^2 + (y33 - y)^2 + (z33 - z)^2}, \quad (3)$$

$$\overline{M44P} = \sqrt{(x44 - x)^2 + (y44 - y)^2 + (z44 - z)^2}. \quad (4)$$

Так как точка $P(x; y; z)$ движется по прямолинейной траектории, то координаты точки можно определить из уравнения прямой. Таким образом, получим:

$$\begin{cases} y = y1 + \frac{(x - x1) \cdot (y2 - y1)}{x2 - x1} \\ z = z1 + \frac{(x - x1) \cdot (z2 - z1)}{x2 - x1} \end{cases}, \quad x \in [x1, x2], \quad x1 \neq x2, \quad (5)$$

где $x1, y1, z1$ – координаты точки $M1$; $x2, y2, z2$ – координаты точки $M2$.

Отношение $\frac{y2 - y1}{x2 - x1}$ и $\frac{z2 - z1}{x2 - x1}$ является тангенсом угла наклона прямой к оси Ox . Если $x1 = x2$, то

$$\begin{cases} x = x1 + \frac{(y - y1) \cdot (x2 - x1)}{y2 - y1} \\ z = z1 + \frac{(y - y1) \cdot (z2 - z1)}{y2 - y1} \end{cases}, \quad y \in [y1, y2], \quad y1 \neq y2, \quad (6)$$

где $\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}$ и $\frac{z_2 - z_1}{y_2 - y_1}$ является тангенсом угла наклона прямой к оси Oy.

В случае, когда $y_1 = y_2$, то

$$\begin{cases} x = x_1 + \frac{(z - z_1) \cdot (x_2 - x_1)}{z_2 - z_1} \\ y = y_1 + \frac{(z - z_1) \cdot (y_2 - y_1)}{z_2 - z_1} \end{cases}, z \in [z_1, z_2], z_1 \neq z_2, \quad (7)$$

где $\frac{x_2 - x_1}{z_2 - z_1}$ и $\frac{y_2 - y_1}{z_2 - z_1}$ является тангенсом угла наклона прямой к оси Oz.

Подставляя одно из полученных выражений (5), (6), (7) в выражения для расчета длин тросов, получим зависимость длин тросов L_1, L_2, L_3, L_4 , положения точки $P(x; y; z)$ в пространстве:

$$\begin{cases} \overline{M11P} = \sqrt{(x_{11} - x)^2 + (y_{11} - y_1 - \frac{(x - x_1) \cdot (y_2 - y_1)}{x_2 - x_1})^2 + (z_{11} - z_1 - \frac{(x - x_1) \cdot (z_2 - z_1)}{x_2 - x_1})^2} \\ \overline{M22P} = \sqrt{(x_{22} - x)^2 + (y_{22} - y_1 - \frac{(x - x_1) \cdot (y_2 - y_1)}{x_2 - x_1})^2 + (z_{22} - z_1 - \frac{(x - x_1) \cdot (z_2 - z_1)}{x_2 - x_1})^2} \\ \overline{M33P} = \sqrt{(x_{33} - x)^2 + (y_{33} - y_1 - \frac{(x - x_1) \cdot (y_2 - y_1)}{x_2 - x_1})^2 + (z_{33} - z_1 - \frac{(x - x_1) \cdot (z_2 - z_1)}{x_2 - x_1})^2} \\ \overline{M44P} = \sqrt{(x_{44} - x)^2 + (y_{44} - y_1 - \frac{(x - x_1) \cdot (y_2 - y_1)}{x_2 - x_1})^2 + (z_{44} - z_1 - \frac{(x - x_1) \cdot (z_2 - z_1)}{x_2 - x_1})^2} \end{cases}, \quad (8)$$

где $x \in [x_1, x_2]$ и $x_1 \neq x_2$.

Если $x_1 = x_2$, то

$$\begin{cases} \overline{M11P} = \sqrt{(x_{11} - x_1 - \frac{(y - y_1) \cdot (x_2 - x_1)}{y_2 - y_1})^2 + (y_{11} - y)^2 + (z_{11} - z_1 - \frac{(y - y_1) \cdot (z_2 - z_1)}{y_2 - y_1})^2} \\ \overline{M22P} = \sqrt{(x_{22} - x_1 - \frac{(y - y_1) \cdot (x_2 - x_1)}{y_2 - y_1})^2 + (y_{22} - y)^2 + (z_{22} - z_1 - \frac{(y - y_1) \cdot (z_2 - z_1)}{y_2 - y_1})^2} \\ \overline{M33P} = \sqrt{(x_{33} - x_1 - \frac{(y - y_1) \cdot (x_2 - x_1)}{y_2 - y_1})^2 + (y_{33} - y)^2 + (z_{33} - z_1 - \frac{(y - y_1) \cdot (z_2 - z_1)}{y_2 - y_1})^2} \\ \overline{M44P} = \sqrt{(x_{44} - x_1 - \frac{(y - y_1) \cdot (x_2 - x_1)}{y_2 - y_1})^2 + (y_{44} - y)^2 + (z_{44} - z_1 - \frac{(y - y_1) \cdot (z_2 - z_1)}{y_2 - y_1})^2} \end{cases}, \quad (9)$$

где $y \in [y_1, y_2]$ и $y_1 \neq y_2$.

Если $y_1 = y_2$, то

$$\begin{cases} \overline{M11P} = \sqrt{\left(x_{11} - x_1 - \frac{(z - z_1) \cdot (x_2 - x_1)}{z_2 - z_1}\right)^2 + \left(y_{11} - y_1 - \frac{(z - z_1) \cdot (y_2 - y_1)}{z_2 - z_1}\right)^2 + (z_{11} - z)^2} \\ \overline{M22P} = \sqrt{\left(x_{22} - x_1 - \frac{(z - z_1) \cdot (x_2 - x_1)}{z_2 - z_1}\right)^2 + \left(y_{22} - y_1 - \frac{(z - z_1) \cdot (y_2 - y_1)}{z_2 - z_1}\right)^2 + (z_{22} - z)^2} \\ \overline{M33P} = \sqrt{\left(x_{33} - x_1 - \frac{(z - z_1) \cdot (x_2 - x_1)}{z_2 - z_1}\right)^2 + \left(y_{33} - y_1 - \frac{(z - z_1) \cdot (y_2 - y_1)}{z_2 - z_1}\right)^2 + (z_{33} - z)^2} \\ \overline{M44P} = \sqrt{\left(x_{44} - x_1 - \frac{(z - z_1) \cdot (x_2 - x_1)}{z_2 - z_1}\right)^2 + \left(y_{44} - y_1 - \frac{(z - z_1) \cdot (y_2 - y_1)}{z_2 - z_1}\right)^2 + (z_{44} - z)^2} \end{cases}, (10)$$

где $z \in [z_1, z_2]$ и $z_1 \neq z_2$.

Моделирование

Для тросового грузоподъемного механизма в среде MATLAB была реализована кинематическая модель, представленная на рисунке 2, а также найдены зависимости длин каждого троса от положения точки $P(x; y; z)$ в пространстве.

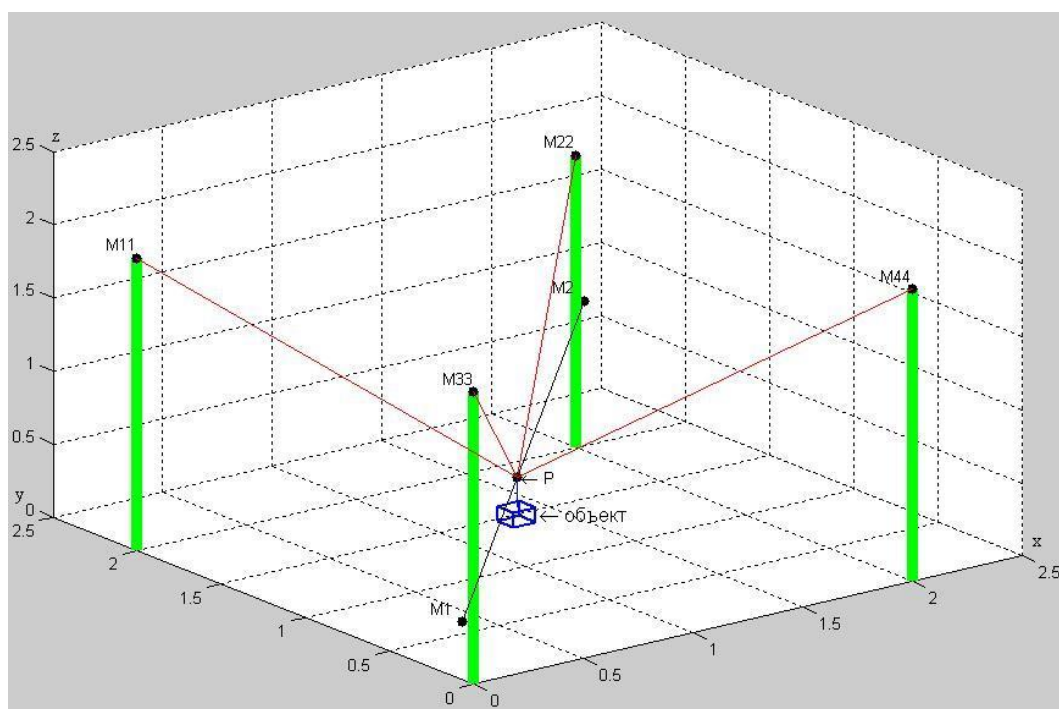


Рис. 2. Результат моделирования кинематики тросового грузоподъемного механизма

График зависимости $L1(x)$, $L2(x)$, $L3(x)$, $L4(x)$ представлен на рисунке 3.

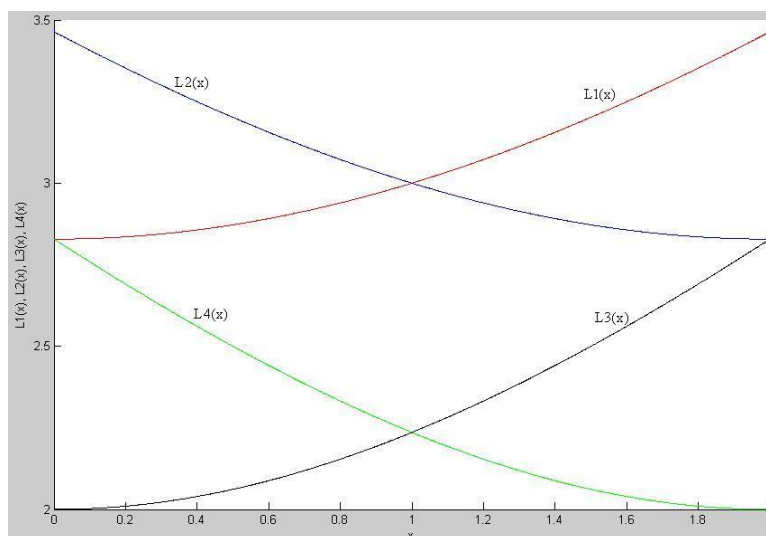


Рис. 3. График зависимости $L1(x)$, $L2(x)$, $L3(x)$, $L4(x)$

Данная зависимость была получена для случая, когда тросы укреплены в точках $M11(0;2;2)$, $M22(2;2;2)$, $M33(0;0;2)$, $M44(2;0;2)$, траектория движения $P(x; y; z)$ задана двумя точками $M1(0;0;0)$ и $M2(2;0;0)$, а также выполнено условие $x1 \neq x2$.

График зависимости $L1(y)$, $L2(y)$, $L3(y)$, $L4(y)$ представлен на рисунке 4. Зависимость была получена для случая, когда траектория движения $P(x; y; z)$ задана точками $M1(0;0;0)$ и $M2(0;2;0)$, а также выполнено условие $y1 \neq y2$.

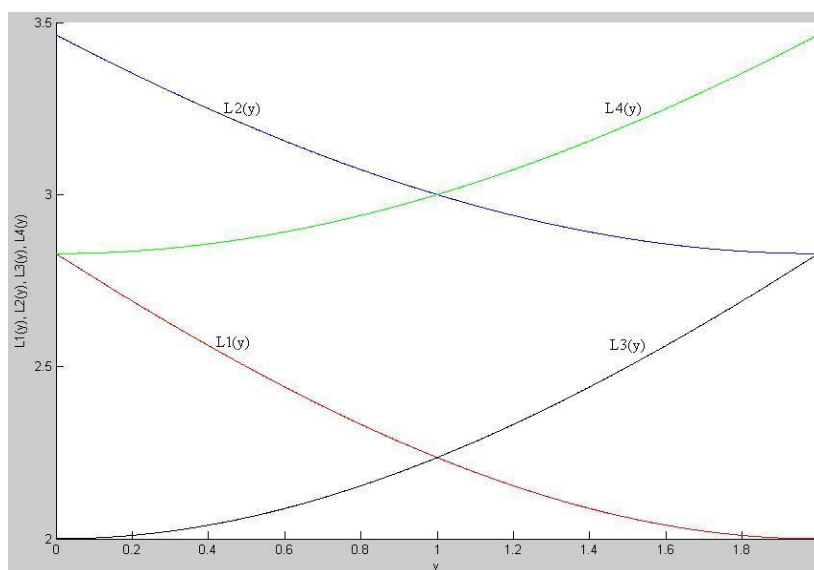


Рис. 4. График зависимости $L1(y)$, $L2(y)$, $L3(y)$, $L4(y)$

График зависимости $L1(z)$, $L2(z)$, $L3(z)$, $L4(z)$ представлен на рисунке 5.

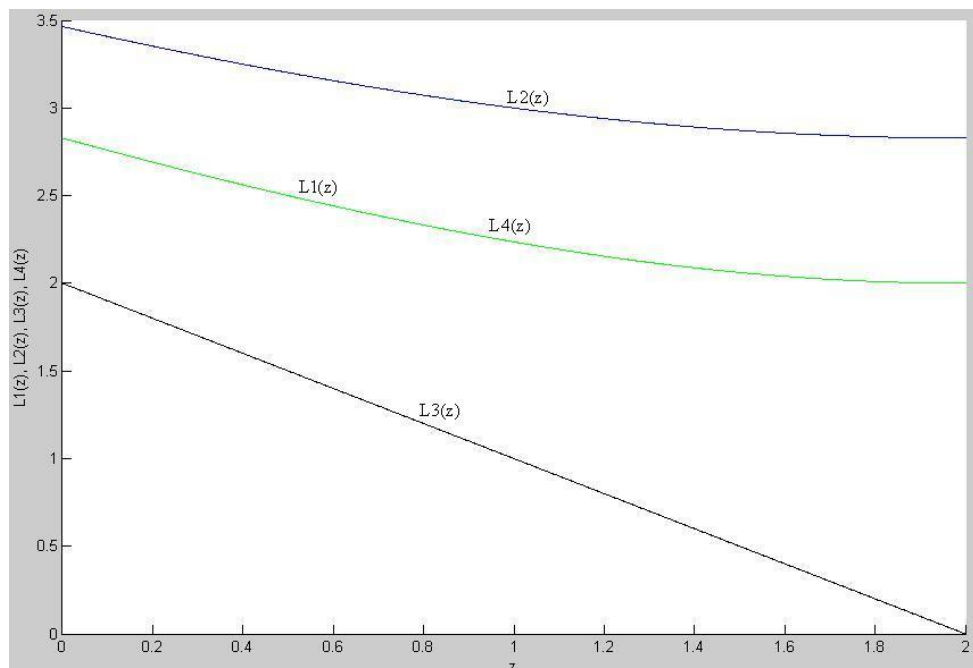


Рис. 5. График зависимости $L1(z)$, $L2(z)$, $L3(z)$, $L4(z)$

Зависимость $L1(z)$, $L2(z)$, $L3(z)$, $L4(z)$ получена для случая, когда траектория движения $P(x; y; z)$ задана точками $M1(0;0;0)$ и $M2(0;0;2)$, а также выполнено условие $z1 \neq z2$. Следует отметить, что в случае движения точки $P(x; y; z)$ вдоль оси Oz , $L1(z) = L4(z)$.

Выводы. В работе было представлено математическое описание работы тросового грузоподъемного механизма, в рамках которого получены зависимости (8), (9), (10). Эти зависимости определяют закон изменения длин тросов при движении точки $P(x; y; z)$ по заданной траектории и являются нелинейными. В среде MATLAB разработана компьютерная модель кинематики тросового грузоподъемного механизма, позволяющая наглядно убедиться в справедливости полученных математических выражений.

Библиографический список

1. Василенко, Н.В. Основы робототехники [Текст] / Н.В. Василенко, К.Д. Никитин, В.П. Пономарев, А.Ю. Смолин. – Томск : МГП РАСКО, 1993. – С. 467.

УДК 681.5

Токарев А.А., Мешков В.Е.

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОТЛОАГРЕГАТОВ

В данной статье изложены принципы, определяющие архитектуру программного комплекса, предназначенного для автоматизированного проектирования котельных агрегатов. Приведена архитектура комплекса, представленная в виде диаграммы классов языка UML. Рассмотрены основные классы объектов и программные модели подсистемы автоматизированного проектирования котлоагрегатов.

Введение. Проектирование технических объектов, подобных сложным котельным агрегатам, связано с необходимостью анализа непрерывных физических процессов, математическим описанием которых являются дифференциальные уравнения в частных производных [1]. Подобные уравнения имеют множество решений и, как следствие, важным для нахождения единственного решения является выбор краевых условий (сведения об искомых непрерывных функциях на границах рассматриваемых областей). В случае же нестационарных задач необходимо задать значения функций в начальный момент времени (начальные условия). Следовательно, для проектирования котлоагрегатов необходимо решать ряд краевых задач, что требует от проектировщика значительных затрат времени. Все вышесказанное подчеркивает актуальность построения систем автоматизации проектирования котлоагрегатов, особенно с точки зрения автоматизации процедур анализа проектных решений. Подобные системы позволяют рассматривать многовариантные решения и существенно сокращают сроки проектирования.

Архитектура программного комплекса. По способу организации движения рабочего тела в парообразующих поверхностях нагрева можно выделить три основных типа котельных агрегатов на органическом топливе: прямоточные котлы, котлы с многократной принудительной циркуляцией и барабанные котлы с естественной циркуляцией. Широкое распространение получили как прямоточные котлы на до- и сверхкритические параметры пара, так и барабанные котлы [6].

При проектировании и при реконструкции котельных агрегатов возникает необходимость в проведении большого числа поверочных расчетов [2, 7, 10], в результате которых определяются расходы, перепады давления и значения энтальпии для каждого элемента гидравлической системы.

Под гидравлической системой понимается система из последовательно и параллельно соединенных элементов, включение которых по рабочей среде образует сложную топологическую структуру со многими

степенями параллельности и поперечными связями. Сложность данной системы и соответствующей ей математической модели делает практически невозможным проведение этих расчетов без использования соответствующих прикладных программ.

Создание комплекса программ для автоматизированного проектирования паровых котлов связано со стремлением повысить эффективность численного эксперимента, под которым в данном случае понимается выполнение поверочного расчета топологически сложных гидравлических систем. Возникающая при этом задача одновариантного анализа относится к функциональному проектированию и сводится в итоге к решению систем нелинейных алгебраических уравнений.

В связи с этим эффективность автоматизации функционального проектирования будет в значительной степени определяться эффективностью методов и алгоритмов для числового решения этих систем. Однако весь процесс численного моделирования не всегда укладывается в рамки решения одной отдельной задачи. В данном случае требуется решение серии задач, в том числе решения одной и той же задачи различными методами, чтобы исключить эффект влияния метода расчета на физический результат [7].

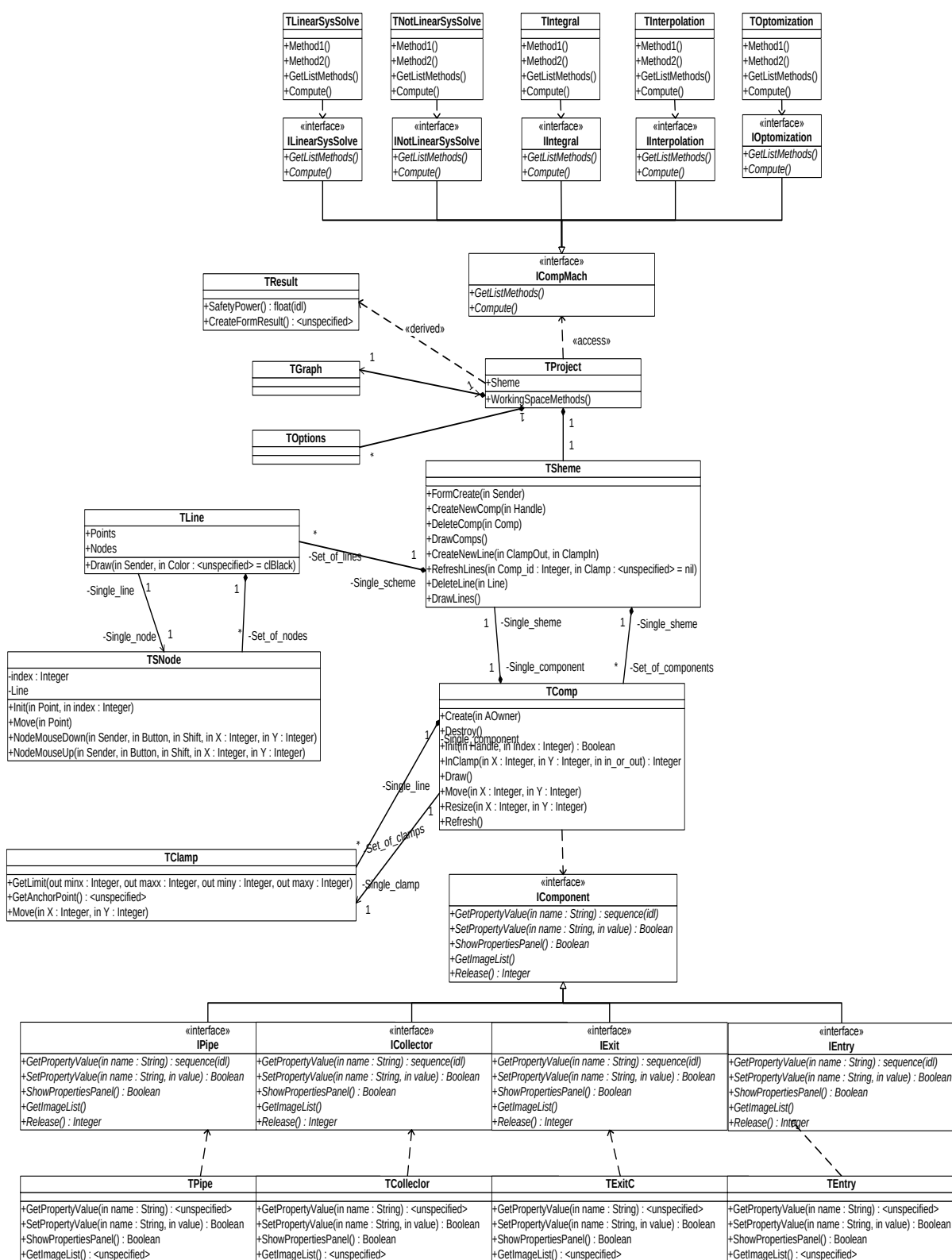
Возможности проектирования сложных объектов обусловлены использованием ряда принципов, основными из которых являются декомпозиция и иерархичность описаний объектов, многоэтапность и итерационность проектирования, типизация и унификация проектных решений и средств проектирования.

Разделение описаний по степени детализации отображаемых свойств и характеристик объекта лежит в основе блочно-иерархического подхода к проектированию и приводит к появлению иерархических уровней в представлениях о проектируемом объекте [1].

Вышеизложенные принципы, требования и особенности предметной области обусловили концептуальную схему будущей программы, содержащую описание основных компонентов и тех функций, которые они должны выполнять.

Этап проектирования структуры программы завершился разработкой логической схемы будущей программы, на которой указываются классы, их свойства и методы, а также различные взаимосвязи между ними в процессе функционирования программы.

Эта схема, представленная на рисунке в виде диаграммы классов, создана с помощью универсального языка моделирования UML и занимает центральное место в методологии объектно-ориентированного анализа и проектирования (ООАП). Согласно ООАП, именно такая схема должна служить исходной информацией для написания программного кода [5].



Структура программного комплекса для автоматизированного проектирования котлоагрегатов в виде диаграммы классов

На рисунке представлены классы, из которых состоит программный комплекс. Каждый класс включает в себя набор атрибутов (вторая секция) и операции (третья секция). Что касается атрибутов, то они определяют общие свойства всех представителей данного класса и в данной диаграмме не указаны. Более важным для понимания структуры программного комплекса является характерный для каждого класса набор допустимых операций. Операция (operation) представляет собой некоторый сервис, предоставляющий каждый экземпляр класса по определенному требованию. Совокупность операций характеризует функциональный аспект поведения класса, а посредством добавления интерфейсов взаимодействия – и функциональный аспект поведения комплекса в целом.

Предложенная структура программного комплекса разбивает гидравлическую систему на иерархические уровни. На уровне 1 наша схема TSheme рассматривается как система из n взаимосвязанных и взаимодействующих компонентов TComp. На уровне 2 компонент TComp рассматривается либо как один из элементарных компонентов (TEntry, TExit, TCollector, TPipe), либо как элемент класса TSheme, представляющий собой также набор компонентов TComp. Такая структура реализует гидравлическую систему с возможностью свертки ее части в отдельную схему, а следовательно, с произвольной глубиной вложенности, что позволяет облегчить визуальное восприятие и в ряде случаев провести расчет части схемы теми же методами, что и всей схемы. Данное свойство представляется весьма ценным, поскольку при расчетах сложных схем большой размерности резко увеличивается количество уравнений, что в свою очередь отрицательно влияет на сходимость численных методов решения систем нелинейных алгебраических уравнений, зависящую от выбора хороших начальных приближений.

Возможность расчета части схемы в отдельном порядке позволяет в общем случае уменьшить количество уравнений и изменить в случае необходимости форму записи уравнений сохранения, описывающих структуру гидравлической схемы, получая при этом различные топологические модели, а следовательно, разные системы уравнений для одной и той же физической схемы.

Вообще вопрос сходимости численных методов решения систем нелинейных алгебраических уравнений при поверочном расчете гидравлических систем котельных агрегатов имеет первостепенную важность и во многом определил структуру спроектированной системы. Отсутствие хороших начальных приближений и точных методов их задания остро подняли вопрос о возможности увеличения в случае необходимости количества методов. Для этого в комплексе реализована возможность добавления библиотек, содержащих численные методы, посредством создания общего интерфейса взаимодействия для каждого класса методов, посвященных решению определенных вычислительных задач.

Схожий механизм используется и для возможного расширения набора компонентов. В данном случае возникла необходимость добавления новых компонентов без осуществления перекомпиляции. Для решения этой проблемы использовались библиотеки, содержащие запрограммированную математическую модель объекта и совокупность требуемых для этого класса методов.

Важным условием стало обязательное определение в библиотеках компонентов методов, присущих всем компонентам, через которые осуществляется их взаимодействие с родительским классом TComp.

Заключение. Перечисленные выше особенности системы, заложенные при ее проектировании, позволяют в случае необходимости расширить ее функционал и использовать для решения сложных инженерных и научных задач, возникающих при проектировании сложных гидравлических систем котлоагрегатов. В то же время предложенная архитектура пакета может быть использована при создании пакетов прикладных программ в других разделах вычислительной математики.

Библиографический список

1. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования [Текст] : учеб. пособ. для вузов / И.П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : МГТУ, 2002. – 336 с.
2. Попырин, Л.С. Автоматизация математического моделирования теплоэнергетических установок [Текст] / Л.С. Попырин, В.И. Самусев, В.В. Эпельштейн. – М. : Наука, 1981. – 236 с.
3. Якобсон, А. Унифицированный процесс разработки программного обеспечения [Текст] / А. Якобсон, Г. Буч, Дж. Рамбо. – СПб. : Питер, 2002. – 496 с.
4. Хасилев, В.Я. Элементы теории гидравлических цепей [Текст] / В.Я. Хасилев // Изв. РАН. Энергетика. – 1964. – № 1. – С. 69–87.
5. Леоненков, А.В. Самоучитель UML / А.В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2001. – 180 с.
6. Мейкляр, М.В. Современные котельные агрегаты ТКЗ [Текст] / М.В. Мейкляр. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1978. – 223 с.
7. Клер, А.М. Автоматизация построения статических и динамических моделей теплоэнергетических установок [Текст] / А.М. Клер, С.К. Скрипкин, Н.П. Деканова // Изв. РАН. Энергетика. – 1996. – № 3. – С. 78–84.
8. Кутепов, А.М. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании [Текст] : учеб. пособие для втузов / А.М. Кутепов, Л.С. Стерман, Н.Г. Стюшин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1983. – 448 с.
9. Лебедев, И.К. Гидродинамика паровых котлов [Текст] : учеб. пособие для вузов / И.К. Лебедев. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 240 с.
10. Хасилев, В.Я. Методы расчета тепловых сетей [Текст] / А.П. Меренков, Б.М. Каганович [и др.] ; под общ. ред. В.Я. Хасилева и А.П. Меренкова. – М. : Энергия, 1978. – 176 с.

РАЗДЕЛ 5

ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

УДК 004.658

Безуглов Д.А., Николенко Ю.В.

БАЗЫ ДАННЫХ: НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И НОВЫЕ ПОДХОДЫ В ПРОЕКТИРОВАНИИ

Проведена оценка существующих проблем и тенденций развития технологий проектирования баз данных. Поставлена задача проектирования переносимой БД, которая может быть реализована на платформах разных типов компьютеров, операционных систем, СУБД и даже моделей данных, и, при необходимости, переноситься с одной платформы на другую.

Широко известные методы проектирования баз данных появились в процессе разработки все более сложных Информационных Систем (ИС), которые должны были рассматривать потребности не одного пользователя, но больших групп и коллективов. Одна такая интегрированная БД создавалась для решения многих задач, каждая из которых использовала только «свою» часть данных обычно, пересекающуюся с частями, используемыми в других задачах. Поэтому главнейшими методами проектирования стали методы исключения избыточности в данных. Эти методы связывались с другими средствами обеспечения логической целостности данных [1, 2].

Цель данной статьи – оценить сегодняшние проблемы и тенденции развития технологий проектирования баз данных (БД), а также хотя бы отчасти – требования завтрашнего дня.

Другой важной проблемой проектирования БД явилось обеспечение нужных эксплуатационных параметров, таких как требования к серверному и прикладному оборудованию или время выполнения различных операций. Известны и другие требования. Например, информация не должна потеряться не только из-за отказов оборудования, но и вследствие ошибки пользователя. Это отличается от того положения, при котором тот, кто решает некую задачу, сам и отвечает за сохранность данных для этой задачи.

При проектировании БД необходимо существенное внимание уделять защите информации от хакерских атак и сторонних пользователей. Необходимость охраны прав добросовестных правообладателей, например, от незаконного копирования и коммерческого распространения их БД не вызывает сомнений [3].

Сформировалось понимание интегрированной БД как общего информационного ресурса предприятия. Хранимые данные стали аналогичны большому компьютеру, который одновременно используется многими пользователями с различными целями и должен быть все время работоспособен.

Классическая методология проектирования БД – это мощный инструмент, для которого разработаны полные, целостные методические системы, для большинства методов предложены формализованные модели, эти модели – или, по крайней мере, их итоговые выразительные возможности – нашли реальное применение в практике проектирования.

Проектирование комплексной попредметной направленности, интегрированной и обычно большой по размеру БД, стало сложной задачей. Этому способствовало наличие технологического опыта в организации и компьютерной поддержке систем разработки программного обеспечения и, с другой стороны, использование активных интегрированных словарей-справочников данных (Data Dictionary/Directory). Так возникли системы CASE – системы для структурного проектирования БД и связанных с ними ИС, ориентированные на модели данных, реализованные в различных СУБД.

Последний факт связан с еще одной задачей, которая может ставиться при проектировании БД: проектирование переносимой БД, которая может быть реализована на платформах разных типов компьютеров, операционных систем, СУБД и даже моделей данных, и, при необходимости, переноситься с одной платформы на другую.

Обеспечение эксплуатационных характеристик БД – по-прежнему непростая задача, несмотря на повышение удельной мощности компьютеров и снижение удельной стоимости серверного и прикладного оборудования, и накопителей информации.

В настоящее время часто применяется на практике СУБД, поддерживающие реляционную модель данных с некоторыми расширениями; иерархическая «каскадная» схема структурного проектирования БД при подходе «сверху-вниз»; CASE-системы для структурного проектирования баз данных, ИС в целом или, к тому же, прикладных программ ИС; утилиты динамического администрирования БД.

Существуют объективные причины появления новых требований. Список типов хранимых и обрабатываемых данных расширился до возможных пределов, определяемых самым общим нормативным значением понятия «данное». В корпоративные БД включаются не только неформатированные элементы и полнотекстовые фрагменты, но также БД с геоинформацией, мультимедийные БД.

Важнейшей задачей проектирования архитектуры корпоративной БД является обеспечение работы с самыми разнообразными типами и источниками информации. В соответствии с реальной практикой источниками и потребителями информации служат не только подразделения данного предприятия, головная контора холдинга или аппарат министерства, но и предприятия других отраслей (возможные поставщики и потребители, государственные регламентирующие органы и др.). Принцип глобализации бизнеса диктует: источники и потребители информации будут находиться в любой географической точке, где это окажется нужно.

Большой рост объемов БД будет сопровождаться ростом требований к их надежности. К средствам и методам проектирования БД вследствие постоянно осуществляемого процесса перепроектирования БД будут непосредственно примыкать средства управления БД. Так, для обеспечения устойчивых к отказам данных необходимо владение средствами управления и синхронизации географически разнесенных теневого и резервного баз данных.

Таким образом, создание корпоративных БД в условиях стремительно развивающихся информационных технологий и их задач – деятельность, использующая многие методы классического проектирования, но требующая многих дополнительных методов и принципов.

Библиографический список

1. Зиндер, Е.З. Критерии выбора современной СУБД как объекта инвестиций для развития предприятия [Текст] / Е.З. Зиндер // СУБД. – 1995. – № 1.
2. Ambler, S.W. Database Refactoring: Evolutionary Database Design / S.W. Ambler, P. Sadalage. – Boston : Prentice Hall PTR, 2006.
3. Astels, D. Test Driven Development: A Practical Guide / D. Astels // Upper Saddle River. – NJ : Prentice Hall, 2004.

УДК 658.512

Мешков В.Е., Ермолаева Н.В.

ЭВОЛЮЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

В статье рассмотрены основные подходы к использованию эвристических методов (генетических алгоритмов в сочетании с методами из теории графов) для моделирования локальных вычислительных сетей и решения на этой основе задачи структурного синтеза топологии сети.

Введение. В наиболее общем виде задача синтеза топологии информационно-вычислительной сети часто формулируется следующим образом. Заданы число и расположение источников и получателей информации, требования к потокам сообщений между парами источник-получатель, известна стоимость оборудования сети [1]. Необходимо минимизировать стоимость всех линий на множестве возможных топологий, пропускных способностей каналов передачи и способах выбора пути (маршрута) передачи при ограничениях на пропускную способность каналов, среднюю задержку в передаче информации и надежность сети. Часто минимизируют среднюю задержку в сети при ограничениях на стоимость сети.

Требования к потокам сообщений в большинстве случаев задаются в виде матрицы тяготений (требований на передачу потоков информации $F = \|f_{ij}\|$, где f_{ij} – средняя интенсивность потока из узла a_i , предназначенная узлу a_j . Стоимости оборудования сети должны быть заданы для всех потенциальных линий связи в зависимости от их пропускной способности c_i в виде функции затрат:

$$s_i(c_i), i=1, 2, 3 \dots m. \quad (1)$$

где $s_i(c_i)$ – стоимость i -й линии связи при ее пропускной способности c_i ; m – число линий связи.

Множество линий связи, соответствующее возможной топологии, обозначим B . Число линий связи при N узлах может достигать до $N_c = N \cdot (N - 1) / 2$, если допустима любая связь между узлами.

Обозначим $\Lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$ – вектор средних величин потоков через линии связи при оптимальных маршрутах потоков сообщений, λ_i – средний поток сообщений (информации) в i -й линии. Такой вектор Λ называется многопродуктовым потоком. Он является результатом суммирования однопродуктовых потоков:

$$\lambda_i = \sum \lambda_i^{j,k} (j, k = \overline{1, N}), \quad (2)$$

где $\lambda_i^{j,k}$ – поток от узла a_j к узлу a_k , направляемый по i -й линии связи.

Матрица F и способ выбора путей передачи информации (маршрутов) однозначно определяют вектор Λ . Обозначим также $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ – вектор пропускных способностей линии связи, T – среднюю величину задержки передачи, $[T]$ – максимально допустимую величину средней задержки. Тогда задача выбора топологии ЛВС может быть сформулирована следующим образом. Заданы расположение источников и получателей информации, матрица требований на передачу потоков F , функции затрат $s_i(c_i)$ для всех потенциальных линий связи.

Требуется минимизировать $S(B, C) = \sum_{i=1}^m s_i(c_i)$, где B – множество линий связи мощностью m , соответствующих возможной топологии, при условиях $\lambda_i \leq c_i$ для всех i , $T \leq [T]$. Под мощностью будем понимать число реальных (проводных) линий связи в канале связи.

Кроме того, обычно накладываются некоторые ограничения на множество B . Например, можно учесть требования к надежности, поставив ограничение, чтобы сеть была двусвязной (чтобы между любой парой узлов было не менее двух независимых путей) или трехсвязной. Если не накладывать ограничений на множество B , то полученная топологическая структура, очевидно, будет в классе деревьев.

В связи с многообразием требований, алгоритмической сложностью, невозможностью перебора всех вариантов строгое решение задачи оптимизации ЛВС большой размерности невозможно даже с помощью ЭВМ, кроме того, на этапе проектирования сети известны лишь приблизительные характеристики требований на передачу потоков информации, поэтому ис-

пользование точных методов решения является нерациональным, т.к. под точным методом в данном случае можно понимать только полный перебор. В настоящее время в практике проектирования структуры ЛВС наибольшее применение нашли квазиоптимальные эвристические методы.

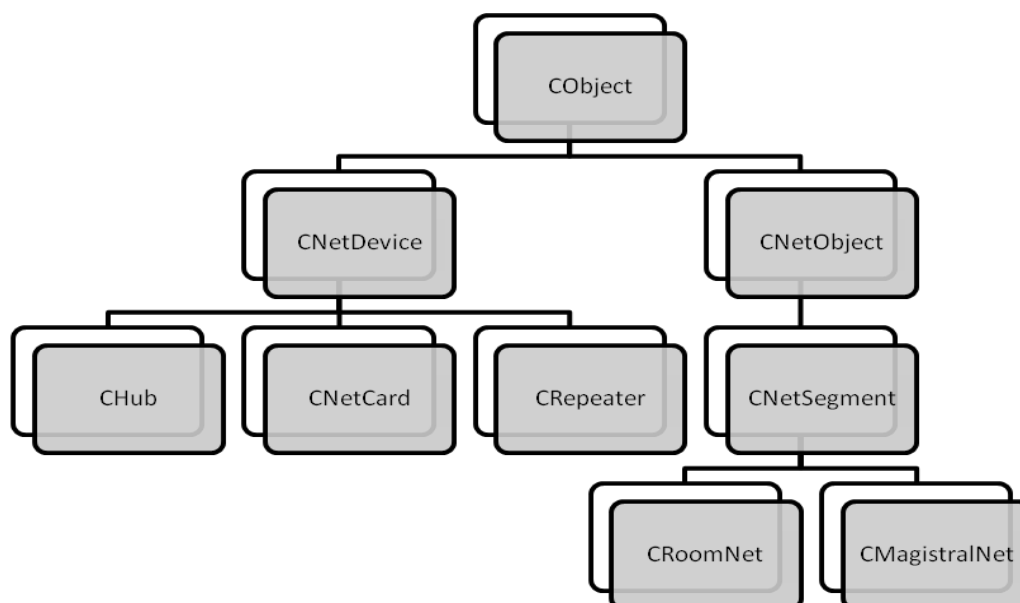
Многие задачи сводятся к рассмотрению совокупности объектов, существенные свойства которых описываются связями между ними. Например, глядя на карту автомобильных дорог, можно интересоваться только тем, имеется ли связь между некоторыми населенными пунктами, отвлекаясь от качества и конфигурации дорог, расстояний и других подробностей. При изучении электрических цепей на первый план может выступить характер соединений ее отдельных элементов – резисторов, конденсаторов, диодов и т.д. Органические молекулы образуют структуры, характерными свойствами которых являются связи между атомами. Интерес могут представлять различные связи и отношения между людьми, событиями, состояниями и вообще между любыми объектами.

В подобных случаях удобно рассматриваемые объекты изображать точками, называемыми вершинами, а связи между ними – линиями (произвольной конфигурации), называемыми ребрами. Множество вершин V , связи между которыми определены множеством ребер T , называют графом $G=(V, E)$ [2].

Программная модель ЛВС

Общая иерархия объектов сетевых средств

Все объекты, представляющие собой компоненты ЛВС, такие как: комнаты; коридоры; этажи; здание; сетевые сегменты; хабы; компьютеры; подсети; отдельные участки кабеля и т.д., представлены в виде дерева объектов C++. Все дерево объектов представлено на рисунке.



Иерархия объектов представления сетевых средств

Объект C++ – это участок оперативной памяти компьютера, в котором хранится список свойств объекта и таблица адресов функций, которые отвечают за реализацию методов объекта [3].

Такое представление объектов не случайно. Представление группы разных, но схожих по своим характеристикам объектов в виде дерева, где в качестве основы используется объект, инкапсулирующий все похожие свойства семейства объектов, гораздо выгоднее, чем реализация всех похожих объектов по отдельности. Это позволяет, во-первых, унифицировать типы данных, а во-вторых, сэкономить на времени кодирования аналогичных операций.

Основным объектом, от которого наследуются все объекты, является объект CObject – базовый объект библиотеки MFC [3]. Этот объект сразу инкапсулирует в себе практически полный набор необходимых функций, таких как обработка потоков (serialization), обработка исключений, обработка информации о классе времени исполнения (RTTI – run time type information), средства диагностики.

Опишем по порядку все объекты, представленные на рисунке. Объект CNetDevice имеет следующее объявление:

```
class CNetDevice : public CObject{
    DECLARE_SERIAL(CNetDevice)
public:
    CNetDevice(){name=«noname»};
    void Serialize(CArchive& ar);
public:
    CString name;
    CString group;
    int type;
    int x;
    int y;
    int z;
    CNetDevice* operator=(CNetDevice& dev);
};
```

Этот объект представляет собой обобщение всех устройств, встречающихся в сети. В его состав входят:

- **DECLARE_SERIAL(CNetDevice)** – макрос для работы с потоками (serialization);
- конструктор;
- name – символьное имя объекта;
- group – символьное имя группы, в которую может входить объект;
- type – некоторое число, которое описывает тип устройства;
- x, y, z – координаты устройства, причем координаты x и y представлены в миллиметрах, а координата z описывает номер этажа;
- operator= описывает процедуру применения оператора '=' для двух объектов CNetDevice (например: device1=device2).

Из объекта CNetDevice наследуются объекты CHub, CRepeater, CNetCard. Рассмотрим их по очереди.

Объект CHub представляет собой реализацию хаба (активного разветвителя) и имеет следующее объявление:

```
class CHub : public CNetDevice{
    DECLARE_SERIAL(CHub)
public:
    CHub(){};
    void Serialize(CArchive& ar);
    int TraceToDev(CHub& hub);
    int TraceToDev(CNetCard& crd);
    int TraceToDev(CRepeater& rpt);
    int CalcWireLen(int num);
    void DrawWire(CDC* pDC, CNetDevice& dev);
    CArray<int, int> link;
    CHub* operator=(CHub& h);
};
```

В него входят:

- **DECLARE_SERIAL(CHub)** – макрос для работы с потоками;
- **Serialize** – метод для сохранения/восстановления объекта на диск/с диска;
- **TraceToDev** – перегруженный метод реализации алгоритма прокладки кабеля. В зависимости от аргумента может быть вызвана та или иная модификация алгоритма;
- **CalcWireLen** – метод подсчета длин всех отрезков сегментов, присоединенных к данному устройству;
- **DrawWire** – прорисовка сегмента на экране;
- **link** – список номеров присоединенных устройств.

Объект CRepeater представляет собой реализацию репитера (повторителя) и имеет следующее объявление:

```
class CRepeater: public CNetDevice{
    DECLARE_SERIAL(CRepeater)
public:
    CRepeater(){};
    void Serialize(CArchive& ar);
    int TraceToDev(CRepeater& rpt);
public:
};
```

В него входят:

- **DECLARE_SERIAL(CRepeater)** – макрос для работы с потоками;
- **Serialize** – метод для сохранения/восстановления объекта на диск/с диска;
- **TraceToDev** – метод реализации алгоритма прокладки кабеля. Кабель от репитера может быть проложен только к другому репитеру.

Объект **CNetCard** представляет собой реализацию всех остальных устройств, подключенных к сети, как правило, это компьютеры, но могут быть и аппаратные роутеры или какие-либо еще устройства, например сетевые принтеры или сканеры. В этом случае, с точки зрения объектной модели, эти устройства ничем не отличаются от компьютеров, т.к. физически подключаются к сегменту по общим правилам и имеют внутри себя устройство, по всем параметрам аналогичное сетевой плате. Данный объект имеет следующее объявление:

```
class CNetCard : public CNetDevice{
DECLARE_SERIAL(CNetCard)
public:
CNetCard(){};
void Serialize(CArchive& ar);
public:
int ipaddr;
int ipmask;
int iprouter;
};
```

В него входят:

- **DECLARE_SERIAL(CNetCard)** – макрос для работы с потоками;
- **Serialize** – метод для сохранения/восстановления объекта на диск/с диска;
- **ipaddr** – IP адрес устройства в сети;
- **ipmask** – маска подсети для сети IP;
- **iprouter** – роутер для данного устройства.

Следует сказать, что для полноценной работы в современной IP-сети недостаточно знать только адрес, маску и адрес роутера. Однако этих данных достаточно для запуска и последующей конфигурации протокола стандартными средствами группового администрирования.

Объект **CNetObject** имеет следующее объявление:

```
class CNetObject : public CObject{
DECLARE_SERIAL(CNetObject)
// rest of declaration follows
public:
CNetObject(){name=«noname»;x=y=z=0;};
```

```
void Serialize(CArchive& ar);  
int x;  
int y;  
int z;  
CString name;  
int type;  
public:  
int ipaddr;  
int ipmask;  
int topology;  
};
```

Он включает в себя:

- **DECLARE_SERIAL(CNetObject)** – макрос для работы с потоками;
- *x, y, z* – координаты устройства, причем координаты *x* и *y* представлены в миллиметрах, а координата *z* описывает номер этажа;
- *name* – символьное имя объекта;
- *type* – некоторое число, которое описывает тип устройства;
- *ipaddr* – широковещательный IP-адрес данной сети. Далее, по ходу алгоритма из этого адреса можно будет вычислить как IP-адрес отдельного устройства, так и номер подсети данного сегмента;
- *ipmask* – маска данной подсети. При помощи маски подсети из адреса сети высчитывается ее номер;
- *topology* – параметр, определяющий, какая топология используется для прокладки кабеля и присоединения кабеля;
- конструктор.

В этом объекте представлено собой обобщение для объектов, которые не представляют собой отдельное физическое устройство в сети, но логически вполне отделимы друг от друга и в иерархии задач для алгоритма декомпозиции с откладыванием задач могут стоять выше, чем конкретные, отдельно взятые сетевые устройства. Такими объектами являются: сетевой сегмент, подсеть в отдельной комнате и магистральная сеть, которым соответственно сопоставлены следующие объекты языка C++ : CNetSegment, CRoomNet, CMagistralNet.

Рассмотрим эти объекты подробнее.

Объект CNetSegment представляет собой реализацию сегмента сети. Он имеет следующее определение:

```
class CNetSegment : public CNetObject{
DECLARE_SERIAL(CNetSegment)
// rest of declaration follows
public:
CNetSegment(){name=«noname»; topology=TPL_ALLBUS;};
void Serialize(CArchive& ar);
virtual BOOL TraceAll();
public:
CArray<CNetDevice, CNetDevice&> dev;
};
```

В него входят:

- **DECLARE_SERIAL(CNetSegment)** – макрос для работы с потоками;
- конструктор;
- **Serialize** – метод для сохранения/восстановления объекта на диск/с диска;
- **TraceAll** – метод реализующий поочередную трассировку всех устройств в данном сегменте, в том числе и каскадно-подключенных хабов. Следует отметить, что тип этой функции – **virtual**, что требует ее реализации в унаследованных классах и позволяет реализовать ее перегрузку в зависимости от объекта, к которому протягивается кабель;
- **dev** – список устройств, присоединенных конкретно к данному сегменту, без использования роутеров.

Объект **CRoomNet** представляет собой реализацию сегмента сети, находящегося в пределах одной комнаты либо охватывающего одну рабочую группу. Он имеет следующее определение:

```
class CRoomNet : public CNetSegment{
DECLARE_SERIAL(CRoomNet)
// rest of declaration follows
public:
CRoomNet(){name=«noname»; uplink=NULL;};
void Serialize(CArchive& ar);
public:
CNetSegment* uplink;
int roomnum;
CArray<CNetCard, CNetCard&> ifs;
CHub hub;
};
```

- **DECLARE_SERIAL(CRoomNet)** – макрос для работы с потоками;
- конструктор;
- `serialize` – метод для сохранения/восстановления объекта на диск/с диска;
- `uplink` – указатель на сегмент, к которому данная сеть подключена и по отношению к которому является подсетью. Следует отметить, что при указании параметра `uplink` использован тип данных `CNetSegment`, что позволяет логически подключать данный сегмент сети как к объекту `CMagistralNet`, так и к объекту `CNetSegment`, либо к другому объекту `CRoomNet` (т.е. наращивать сети каскадно);
- `ifs (interfaces)` – список всех сетевых устройств, подключенных к данному сегменту. Является аналогом переменной `dev` объекта `CNetSegment`, но в то же время логически замещает его, т.к. использование объекта `CRoomNet` подразумевает, что к нему не будет подключено никаких других устройств, кроме сетевых плат, либо их аналогов, приведенных в описании объекта `CNetDevice`;
- `hub` – логическая структура, описывающая хаб, его координаты, тип, число портов и т.д.

Объект `CMagistralNet` представляет собой реализацию сегмента сети, логически охватывающего всю сеть. Он имеет следующее определение:

```
class CMagistralNet : public CNetSegment{
DECLARE_SERIAL(CMagistralNet)
// rest of declaration follows
public:
CMagistralNet(){name=«noname»};
void Serialize(CArchive& ar);
public:
CArray<CNetSegment, CNetSegment&> link;
};
```

- **DECLARE_SERIAL(CRoomNet)** – макрос для работы с потоками;
- конструктор;
- `serialize` – метод для сохранения/восстановления объекта на диск/с диска;
- `link` – описание всех сегментов, которые подключены к данному сегменту.

Представление коаксиального сегмента в виде символьной модели

Для представления сегмента сети, построенного на коаксиальном кабеле в виде символьной модели, используются следующие битовые поля:

- $n \cdot 8$ бит для представления последовательности соединяемых узлов ($2^8=256$ – превышает максимальное число устройств в коаксиальном сегменте);
- $\text{sizeof}(\text{double}) = 8$ бит для представления величины целевой функции;
- 32 бит для представления остальных признаков модели.

Последнее число обусловлено тем, что использование большого числа однобитных значений для представления большого числа параметров работает медленнее, чем одно многобитное число, аккумулирующее в себе несколько таких переменных, которые можно очень быстро (за один такт процессора) выбирать из многобитного числа. Значение 32 бита выбрано по величине машинного слова ($\text{sizeof}(\text{int})$) процессора i386 и выше.

Представление сегмента на витой паре в виде символьной модели

Для представления сегмента сети, построенного на коаксиальном кабеле в виде символьной модели, используются следующие битовые поля:

- 32 бит для представления x-координаты хаба;
- 32 бит для представления y-координаты хаба;
- 8 бит для представления z-координаты хаба;
- $\text{sizeof}(\text{double}) = 8$ бит для представления величины целевой функции;
- $n \cdot 8$ бит для представления номеров узлов в списке, которые подлежат присоединению непосредственно к этому хабу;
- 32 бит для представления остальных признаков модели.

Особенностями использования подобных моделей является то, что невозможна быстрая работа генетического алгоритма со стандартным механизмом внесения мутаций. Это обусловлено тем, что при внесении точечной мутации при построении технического решения по символьной модели битовая строка может развернуться в номер узла, которого не существует, либо в номер узла, который уже есть, т.е. сегмент будет два раза проходить через один и тот же сетевой интерфейс, что может вызвать логические противоречия при расчете целевой функции данной модели.

Также точечные мутации не могут привести к полезным изменениям технического решения, если будут вноситься в поле, в котором будет храниться значение целевой функции.

Для предотвращения проявления этих явлений используется следующий алгоритм для внесения битовых изменений:

- случайным образом выбирается поле для внесения изменений;
- случайным образом выбирается номер бита в поле, в который надо внести изменения;

- вносятся изменения;
- если номер получившегося узла не является допустимым, то весь процесс происходит с самого начала;
- находится поле, значение которого совпадает со значением измененного поля;
- в данное поле заносится значение, которое было в поле, подвергнувшись мутации до изменения его значения;
- вычисляется значение целевой функции для данного технического решения;
- техническое решение помечается в список;
- проверяется условие окончания работы алгоритма, и работа алгоритма возобновляется.

При таком механизме внесения мутаций необходимо задать несколько большее, чем на обычных ГА, число особей (примерно на порядок) и около 3...5 % вероятность мутации.

Модель топологии сети Ethernet

Топологическая структура локальной вычислительной сети, или просто – ЛВС, представляет собой совокупность узлов (терминалов, узлов коммутации и т.п.) и соединяющих их линий и каналов связи [1]. Она показывает потенциальные возможности сети по доставке информации между отдельными узлами этой сети. В качестве модели структуры сети наиболее часто используются модели, основанные на теории графов – графовые модели. Граф $G(A, B)$ имеет множество вершин $a_{ij} \in A$, соответствующим пунктам сети и множество дуг или ребер $b_{ij} \in B$ линий связи между a_i и a_j . Каждой вершине графа может приписываться некоторый набор чисел: пропускная способность узла c_{ij} , стоимость узла s_{ij} и т.д.

Для описания структуры сети и количественных оценок ее элементов используют следующие матрицы:

- матрица связности (смежности) $G = \|g_{ij}\|$, где $g_{ij}=1$, если есть ребро, связывающее вершину a_i с вершиной a_j , и $g_{ij}=0$, если такого ребра нет;
- матрица длин ребер (каналов связи) $L = \|l_{ij}\|$, где l_{ij} – расстояние от пункта a_i до пункта a_j ;
- матрица пропускных способностей (емкостей ребер) $C = \|c_{ij}\|$, где c_{ij} – максимальное число бит в секунду, которое может быть пропущено по ребру g_{ij} ;
- матрица стоимости $S = \|s_{ij}\|$, где s_{ij} – стоимость ребра между пунктами a_i и a_j .

Используются и другие оценки, характеризующие такие показатели, как например, вероятности отказов ребер сети, число каналов в линиях связи, характеристикой путей доставки информации (ранг, минимальная пропускная способность, тип канала, выделенный или коммутируемый и т.п.).

Путь μ_{st} от узла a_s до узла a_t – упорядоченная последовательность ребер, начинающаяся в a_s , оканчивающаяся в a_t и не проходящая дважды через один и тот же узел. Путь, намеченный для доставки сообщений между заданной парой узлов, называется **маршрутом**, а число ребер, образующих данный путь, – **рангом** маршрута.

Пропускная способность сети определяется наиболее узким местом – минимальной пропускной способностью ребер, образующих путь. **Связностью** сети называется минимальное число независимых путей между любой парой узлов. **Сечение сети** – избыточная совокупность ребер, которые надо изъять из сети, чтобы нарушить ее связность. Сечениями s_{st} по отношению к узлам a_s и a_t называются такие сечения, при которых эти узлы остаются в разных подсетях. Пропускная способность сечения определяется как сумма пропускных способностей ребер, входящих в данное сечение.

Для развитых вычислительных сетей характерно использование широкого диапазона классов структур с различным количеством узлов и линий связи, которые в общем случае неоднородны и имеют большое число разнообразных параметров. Существующие и проектируемые информационно-вычислительные сети в большинстве случаев являются многоуровневыми. Как правило, такая сеть состоит из магистральной децентрализованной сети верхнего уровня (**горизонтальная сеть**) и централизованных низовых сетей (**вертикальные сети**) в нижнем уровне. Структура сети каждого уровня может обладать внутренней иерархией. Сложная структура сети может быть разделена на более простые структуры. Простейшими структурами являются следующие:

- с параллельным;
- последовательным;
- радиальным (звездообразным) соединением элементов.

Все другие структуры могут быть получены путем комбинации простейших структур.

Централизованные вычислительные сети характеризуются наличием множества абонентских пунктов (терминалов, сетевых устройств), произвольно расположенных на некоторой площади и управляемых из одного центра с помощью каналов связи. Простейшими структурами централизованной сети являются радиальная (звездообразная) и последовательная (цепочечная). Звездообразная структура имеет в общем случае более протяженные линии связи, а следовательно, и более дорогие. В сети с цепочечной структурой суммарная длина линий связи меньше, однако такая сеть менее надежна, так как отказ одной линии связи может привести к нарушению связи для многих абонентов. ЛВС древовидной структуры является комбинацией простейших централизованных сетей, позволяющая несколько повысить надежность сети по сравнению с цепочечной сетью без значительного увеличения протяженности и стоимости линий связи.

При повышении требований к надежности и при переходе к интенсивно нагруженным линиям связи (что наиболее характерно для магистральных сетей) применяются сложные комбинированные (распределенные) структуры сети (от структуры типа «кольцо» до полносвязной структуры) [4]. При синтезе таких структур требования к надежности обычно задаются в виде k -связности. Число линий связи, их длина, и пропускные способности в значительной мере определяют стоимость всей сети. Для радиальной и последовательной (цепочечной) структуры сети число линий связи

$$N_c = N - 1. \quad (3)$$

Для кольцевой

$$N_c = N. \quad (4)$$

Для полносвязной

$$N_c = N \cdot (N - 1) / 2, \quad (5)$$

где N – общее количество узлов в сети.

Полносвязная структура является наиболее надежной и живучей, но наименее экономичной. С увеличением размеров сети, а следовательно, и увеличением объема передаваемой информации целесообразен переход к иерархическим сетям. На нижних уровнях иерархии повышение эффективности использования линий связи достигается применением концентраторов (мультиплексоров) данных.

Синтез топологической структуры крупномасштабных ЛВС наталкивается на ряд трудностей, связанных с ограниченными возможностями используемой вычислительной техники, большой размерностью и многоэкстремальностью решаемой задачи синтеза, несовершенством используемых методов оптимизации. Перечисленные трудности вызывают необходимость использования декомпозиционного подхода, позволяющего свести решение сложной задачи к ряду более простых. В практике проектирования общая задача синтеза топологической структуры сети разбивается на ряд подзадач:

- определения числа и местоположения узлов коммутации;
- синтез низовых сетей;
- синтез магистральной сети.

Решение перечисленных задач, в совокупности представляющих собой задачу синтеза, осуществляется, как правило, с использованием приближенных эвристических методов.

При сравнении вариантов структуры сети возникает необходимость ее оценки. Успех оптимизации зависит не только от точности моделей функционирования и совершенства математического аппарата, но и от выбранного критерия оптимизации.

Используется два подхода к выбору критериев оптимизации:

- из множества параметров выделяется один наиболее важный показатель, а на остальные накладываются ограничения, т.е. математическая задача сводится к нахождению условного экстремума;
- на основе исходного множества параметров строится обобщенный критерий, наиболее полно характеризующий систему, при этом задача обычно сводится к нахождению безусловного экстремума.

При первом подходе обычно используют такие параметры сети, как средняя задержка в сети, стоимость сети и т.д. При втором подходе используют различные комбинации перечисленных параметров (например, произведение стоимости и средней задержки в сети).

Заключение. В статье рассмотрены основные подходы к использованию эвристических методов (генетических алгоритмов в сочетании с методами из теории графов) для моделирования локальных вычислительных сетей и решения на этой основе задачи структурного синтеза топологии сети. Алгоритмы синтеза подробно изложены в статье [4].

Библиографический список

1. Бройдо, В.Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникация [Текст] / В.Л. Бройдо. – СПб. : Питер, 2003. – 688 с.
2. Олифер, В.Г. Компьютерные сети [Текст] : Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2003. – 864 с.
3. Хогдал, Дж. Скотт. Анализ и диагностика компьютерных сетей [Текст] : Просто и доступно / Хогдал Дж. Скотт ; науч. ред. А. Бернштейн ; пер. М. Кузьмин. – М. : ЛОРИ, 2001.
4. Мешков, В.Е. Решение задачи синтеза топологии ЛВС на основе эволюционных методов проектирования [Текст] / В.Е. Мешков, А.Н. Береза // Труды Междунар. науч.-техн. конф. «Интеллектуальные системы» (AIS'05) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2005). – В 4 т. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – Т. 4. – 256 с.

РАЗДЕЛ 6

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.3

Ермолаева Н.В., Мешков В.Е., Борзов Д.Б.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭВМ

В настоящей статье приводится описание устройства, которое может быть использовано в области проектирования вычислительных систем, например, при анализе качества размещения процессов (алгоритмов, задач) в многопроцессорных ЭВМ. Оценка качества размещения производится по критерию минимизации интенсивности взаимодействия процессов и данных.

В настоящее время с целью повышения производительности ЭВМ применяется параллельная обработка большого количества задач на множестве процессоров. Примерами таких систем являются системы CRAY T3E, ORIGIN 2000, Intel Paragon и т.д. [1]. Количество процессоров в них может достигать нескольких сотен. Коммуникационная среда таких параллельных систем (ПС) представляет собой множество матричных структур. В них часто возникает необходимость перераспределения потока поступающих задач и оценки качества вновь полученных вариантов размещения, например, из-за отказа одного из процессорных модулей. Применение для этих целей программных средств зачастую бывает неприемлемо из-за большой сложности решаемой задачи. В связи с этим возникает необходимость применения аппаратных устройств-акселераторов. В данной работе проектируется устройство, оценивающее качество размещения задач в параллельных системах. В рамках работы учитывались результаты исследований [2–5].

Укрупненная структура ПС с устройством-акселератором размещения и устройством оценки качества размещения представлена на рисунке 1.

Главная машина управляет работой системы в целом. Она принимает пакет задач из внешней среды. При получении задачи размещения главная машина дает запрос устройству-акселератору выполнить задачу планирования размещения в процессорной системе, либо выполнить задачу оценки качества имеющегося варианта размещения. После выполнения одной из этих задач главная машина принимает результат. Если полученный вариант ближе к оптимуму, чем найденный ранее, то он запоминается как наилучший, в противном случае игнорируется. Описанный процесс происходит до тех пор, пока не истечет заданный лимит времени на размещение

и/или не будет найдено решение требуемого качества. После этого главная машина инициирует загрузку найденного варианта размещения в процессорные модули параллельной системы, а ПС в свою очередь воздействует каким-либо образом на объекты управления.

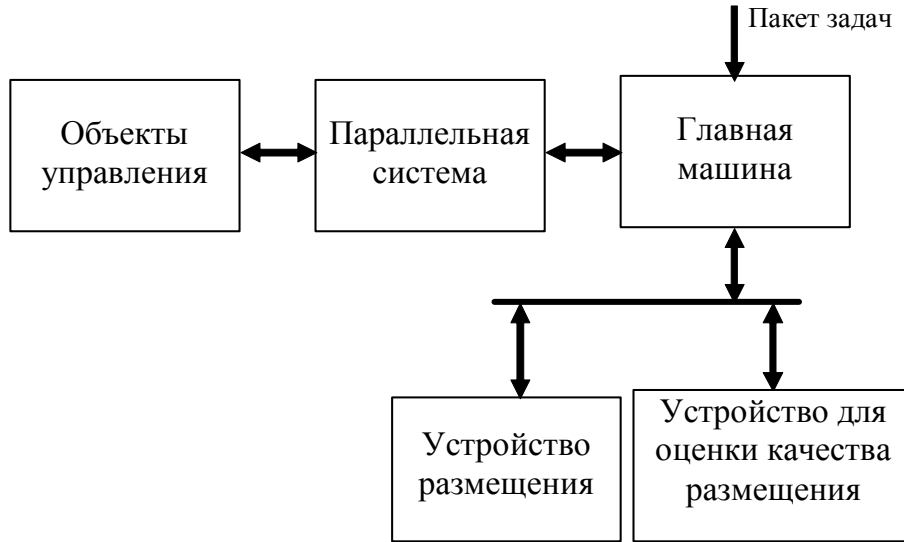


Рис. 1. Укрупненная структурная схема ПС

Исходная задача представляется в виде неориентированного невзвешенного графа $G = \langle X, E \rangle$, вершины $x_i \in X$ соответствуют подзадачам, а дуги $e_{ij} \in E \subseteq X \times X$ задают связи между ними.

ПС представляется топологической моделью в виде графа $H = \langle M, V \rangle$,

$$H = \left\{ \begin{array}{l} m_{1,1}, m_{1,2}, \dots, m_{1,n} \\ m_{2,1}, m_{2,2}, \dots, m_{2,n} \\ \dots \\ m_{n,1}, m_{n,2}, \dots, m_{n,n} \end{array} \right\}$$

где $|M| = N = n$ – количество модулей ПС, организованных в матрицу, $|V| = N = n$ – количество вершин графа G , V – матрица связей.

Размещение графа G в ПС H задается в виде отображения

$$\beta = \left\{ \begin{array}{l} x_{S_{1,1}}, x_{S_{1,2}}, \dots, x_{S_{1,k}}, \dots, x_{S_{1,n}} \\ x_{S_{2,1}}, x_{S_{2,2}}, \dots, x_{S_{2,k}}, \dots, x_{S_{2,n}} \\ \dots \\ x_{S_{q,1}}, x_{S_{q,2}}, \dots, x_{S_{p,k}}, \dots, x_{S_{q,n}} \\ \dots \\ x_{S_{n,1}}, x_{S_{n,2}}, \dots, x_{S_{n,k}}, \dots, x_{S_{n,n}} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} m_{0,1}, m_{0,2}, \dots, m_{0,k}, \dots, m_{0,n-1} \\ m_{1,1}, m_{1,2}, \dots, m_{1,k}, \dots, m_{1,n-1} \\ \dots \\ m_{q,1}, m_{q,2}, \dots, m_{p,k}, \dots, m_{q,n-1} \\ \dots \\ m_{n-1,1}, m_{n-1,2}, \dots, m_{n-1,k}, \dots, m_{n-1,n-1} \end{array} \right\},$$

где $k = \overline{1, N}$, $p = \overline{1, N}$, $q = \overline{1, N}$, $S = \overline{1, N!}$

размещения, показанном на рисунке 2б. В данном случае интенсивность взаимодействия между всеми модулями равна единице. Такой вариант размещения влияет на общее время выполнения задачи и ведет к его уменьшению. Предлагаемое устройство для оценки качества размещения в матричной параллельной системе показано на рисунке 3.

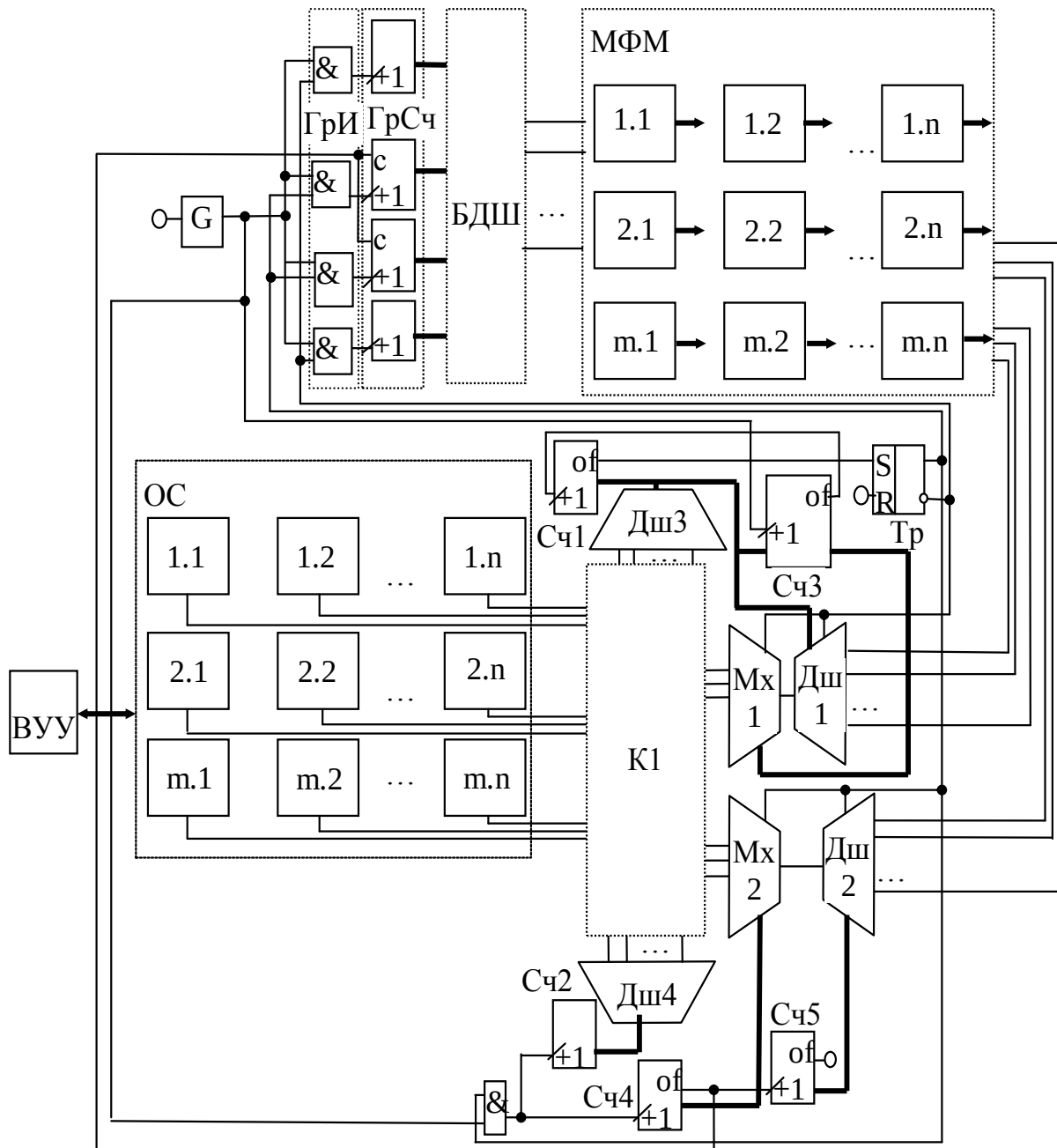


Рис. 3. Структурная схема устройства оценки качества размещения

На рисунке 3 матрица N отображается однородной средой (ОС), управляемой с помощью внешнего устройства управления. При поступлении сигнала от внешнего устройства управления (ВУУ) происходит фор-

мирование нового варианта размещения, после чего предлагаемое устройство оценивает его качество по предложенному критерию. Информация о просмотренном варианте размещения записывается в матрицу фиксированных модулей МФМ, откуда она передается в главную машину для принятия решения о его качестве.

Работа устройства делится на два этапа, что обеспечивается триггером Тр.

На первом этапе происходит просмотр горизонтально зафиксированных дуг в модулях ПС, а затем – вертикально зафиксированных дуг. Выбор и последовательный просмотр горизонтально зафиксированных дуг обеспечивает счетчик строк Сч1, счетчик столбцов Сч3, дешифратор Дш1, Дш3, мультиплексор Мх1. Просмотр соответствующих вертикально зафиксированных дуг обеспечивают счетчик строк Сч2, счетчик столбцов Сч4, счетчик Сч5, дешифраторы Дш2, Дш4 и мультиплексор Мх2. Блок дешифраторов БДШ, группа элементов И (ГрИ) с группой счетчиков ГрСч обеспечивает запись информации о просмотренных дугах в МФМ. Матрица ключей К1, в качестве которых могут быть использованы, например, элементы запрета или триггеры, обеспечивает последовательный выбор и подключение элементов ОС для дальнейшего анализа.

В заключение отметим следующее. Предлагаемое устройство позволяет оценивать качество размещения в матричных параллельных системах на основе критерия минимизации интенсивности взаимодействия процессов и данных. За счет применения данного критерия уменьшается общий объем времени выполнения задачи и, соответственно, повышается быстродействие и производительность вычислительной системы.

Библиографический список

1. Воеводин, В.В. Параллельные вычисления [Текст] / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. – СПб. : БХВ–Петербург, 2002. – 608 с.
2. Борзов, Д.Б. Аппаратная реализация алгоритмов в параллельных системах с кольцевой структурой [Текст] / Д.Б. Борзов, И.В. Зотов, В.А. Титов // Известия вузов. Приборостроение. – СПб., 2003. – № 3. – С. 28–34.
3. Борзов, Д.Б. О субоптимальном размещении процессов и данных в кольцевых сетях [Текст] / Д.Б. Борзов, И.В. Зотов, В.А. Титов // Известия вузов. Приборостроение. – СПб., 2003. – № 11. – С. 48–55.
4. Борзов, Д.Б. Устройство поиска нижней оценки размещения в матричных системах [Текст] / Борзов Д.Б. – Патент РФ № 2275681, БИ № 12; от 27.04.2006.
5. Борзов, Д.Б. Устройство оценки качества размещения в матричных параллельных системах [Текст] / Д.Б. Борзов, Н.В. Ермолаева // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы : материалы восьмого Междунар. науч.-практ. сем., от 17–20 апреля 2007 г. – Донецк, Донецк : ДонНТУ, 2007. – Т. 3. – С. 42–46.

УДК 621. 315.592: 548.5
Ермолаева Н.В., Литвин Н.В.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ С ПОВЫШЕННОЙ ДОБРОТНОСТЬЮ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Приводятся результаты анализа технологического процесса изготовления термоэлектрических охлаждающих устройств. Предложен ряд нововведений в рассматриваемую технологию производства. Рассмотрены возможности приборного применения термоэлектрических охлаждающих устройств в техническом обеспечении информационных систем.

Термоэлектричество как явление уже изучается более 150 лет и, несмотря на это, оно по-прежнему актуально не только с точки зрения фундаментальной науки, но и в инженерном плане, поскольку многолетние исследования не привели к оптимизации реальных устройств, использующих данное явление. Повышенный интерес к термоэлектрическим устройствам в последнее время обусловлен возросшими требованиями к комфортности жизни, необходимостью удовлетворения преобразователей энергии экологическими требованиями. И главное, потребностью микроэлектроники, связанной с повышением интеграционной плотности и, как следствие, с проблемой теплоотвода.

Термоэлектрические охлаждающие устройства (ТОУ) выпускаются многими современными промышленными отраслями. У каждого предприятия технология изготовления ТОУ своя. Но в любой из них задействован ручной труд, следовательно, это приводит ко многим неудобствам, таким как небольшие количества выпускаемых партий, несовершенства в конструкции самих модулей, сам процесс изготовления модуля сложный и занимает много времени.

Существующая в настоящее время на предприятии «Элион» технология изготовления термоэлектрических охлаждающих устройств не обеспечивает 100%-е производство модулей с добротностью Z выше $\approx 2,4$ – $2,5$. Для успешной конкуренции с другими производителями ТОУ возникает необходимость совершенствования технологии, ориентированной на увеличение добротности. Целью данной работы было увеличение Z до $2,7$ – $2,9$ в основной массе выпускаемых изделий.

Рассмотрим существующую технологию сборки ТОУ. Сборка одного модуля состоит из множества отдельных операций и занимает значительное время, причем в большинстве выполняемых ручным трудом. Одной из самых ответственных операций является процесс пайки теплопереходов.

Суть существующего технологического маршрута сборки ТОУ сводится к следующему: на два теплоперехода, нижний и верхний (рис. 1 и 2 соответственно), отличающиеся рисунком топологии нанесенных контактов, наносят слой припоя и укладывают в предварительно никелированные

шинки размером $3500 \times 1500 \times 400$ мкм, выполненные из электролитической меди, которые необходимы для увеличения токопрохождения. В качестве флюса используется смесь глицерина и хрома-никеля, припоя используют оловянно-свинцовые стандартные припои.

Слой металлизации, нанесенный на теплопереходы, выполняет несколько функций.

Проводящий слой должен позволять качественно проводить пайку ветвей к теплопереходам, не снижая значения электропроводности, по крайней мере, значительно. Места соединения термоэлектрических ветвей с медными шинками, которые припаиваются для увеличения токопрохождения, должны иметь очень небольшое сопротивление. Это сопротивление не должно значительно превышать сопротивление полупроводника, иначе место спая будет нагреваться, что крайне нежелательно.

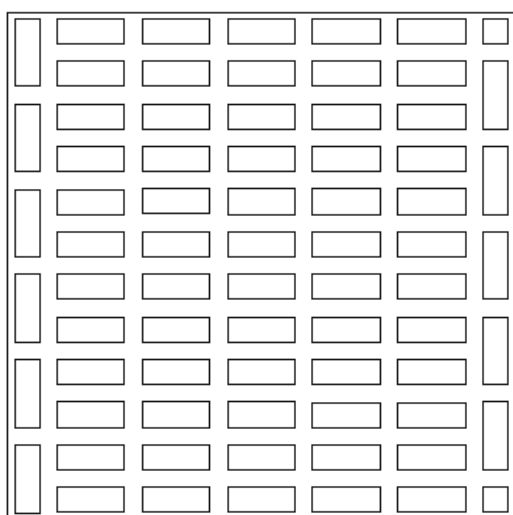


Рис. 1. Нижний теплопереход

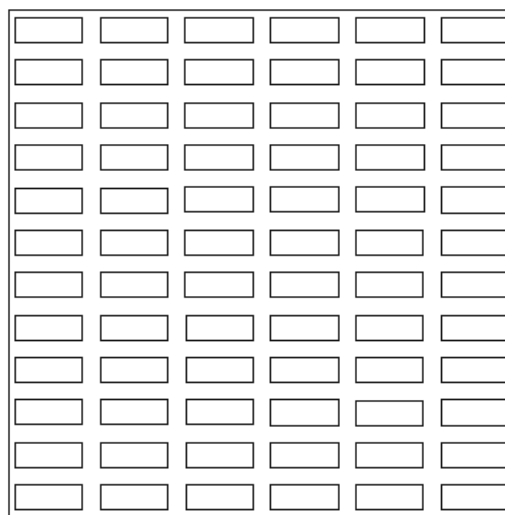


Рис. 2. Верхний теплопереход

Кроме того, проводящий слой должен выполнять и защитную функцию, выступая в роли защитного барьера против проникновения в материал полупроводниковых термоэлектрических ветвей веществ из материала припоя. В состав припоя ПОС-61 входит свинец, который является легирующей примесью для соединения теллурида висмута. Напыляемый слой естественно должен обладать хорошей адгезией к поверхности полупроводникового вещества.

Затем в заранее подготовленный трафарет проводят установку термоэлектрических ветвей в шахматном порядке, чередуя ветви *n*- и *p*-типа проводимости.

После этого проводят процесс пайки ветвей к нижнему теплопереходу, снимают трафарет, проверяют качества пайки, затем устанавливают верхний теплопереход и снова проводят пайку, теперь уже целого термомодуля, хотя припаивается только верхний теплопереход.

Заключительными операциями маршрута являются припайка выводов, мойка, сушка, измерение параметров термомодуля. Эти операции позволяют оценить качество сборки термомодулей и их эффективность, а также величину сопротивления.

Внешний вид готового модуля приведен на рисунках 3-4.

Завершением маршрута служит упаковка продукции.

На предприятии НПЦ «Элион» к внешнему виду выпускаемой продукции предъявляются следующие требования:

- на поверхности теплопереходов термоэлектрического модуля не должно быть темных пятен и загрязнений;
- на внутренней поверхности теплопереходов в местах пайки ветвей не должно наблюдаться загрязнения остатками флюса;
- теплопереходы термоэлектрического модуля не должны иметь трещин и сколов;
- не должно наблюдаться закорачивание припоем контактных площадок теплопереходов;
- концы проводов токовыводов должны быть зачищены и залужены на величину 5–10 мм;
- изоляция проводов токовыводов не должна иметь повреждений.

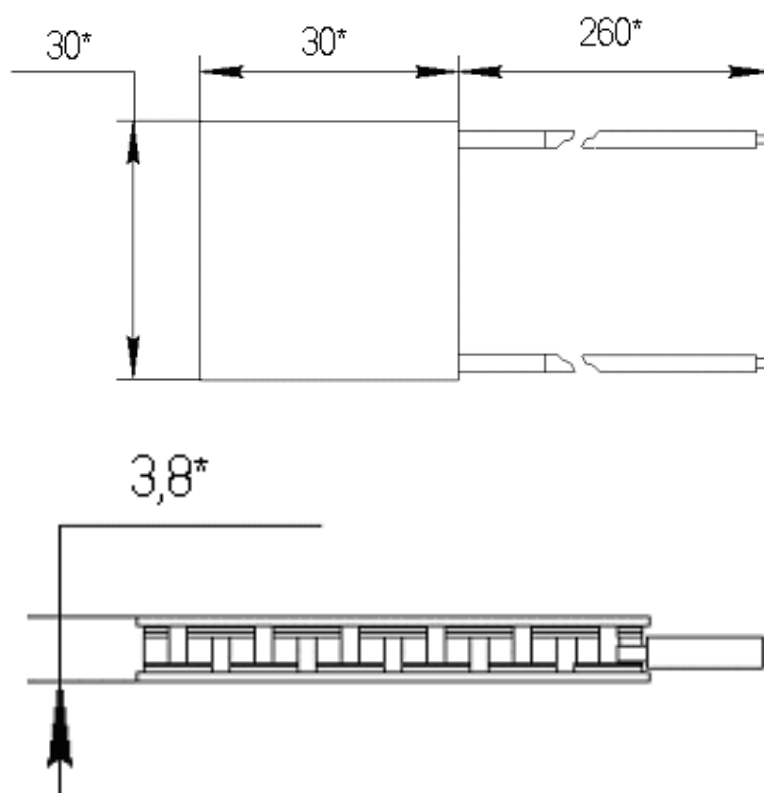


Рис. 3. Внешний вид готового модуля

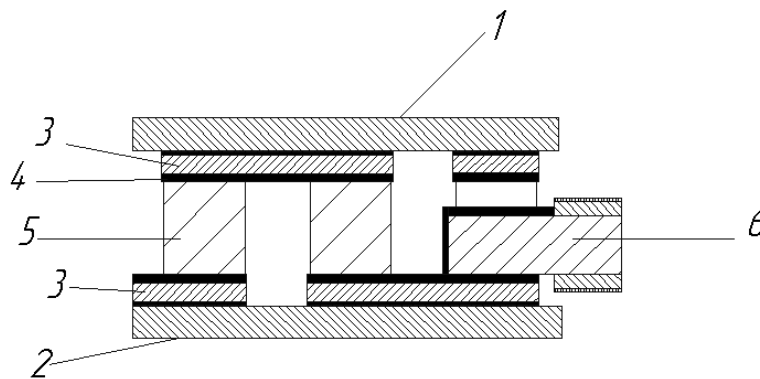


Рис. 4. Профиль термоэлектрического модуля:

1 – верхний теплопереход; 2 – нижний теплопереход; 3 – медная шинка;
4 – припой; 5 – кристаллик Bi_2Te_3 ; 6 – провод

Анализируя этот маршрут, оценивая имеющиеся на предприятии оборудование и освоенные технологические операции, нами предложен ряд нововведений по внедрению технологии производства термоэлектрических модулей. Поскольку после анализа существующей технологии изготовления слабыми местами во всей технологии сборки выявлена пайка, то нами предлагается совершенствование этой операций, используя установку ИК-термообработки (рис. 5).

Данная установка представляет собой две конвейерные ленты с расположенными над ними агрегатами термообработки, температура в которых регулируется при помощи высокоточных регуляторов БПРТ-1. Каждый конвейер приводится в движение от отдельного электропривода с возможностью регулирования скорости движения.

Для установления возможности использования ИК-излучения для пайки модулей была проведена серия экспериментов. Разработка технологической оснастки для пайки ТЭМ проводилась с учетом результатов этих экспериментов. Поскольку характеристики модулей в значительной степени зависят от качества спаев теплопереходов, то особое значение приобретает оснастка, позволяющая осуществить качественный спай между теплопереходом и ветвями термоэлементов.

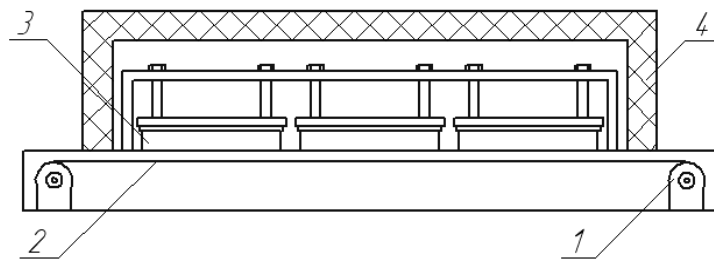


Рис. 5. Конструкция агрегата термообработки:

1 – ведущий барабан; 2 – лента; 3 – ИК-нагреватель; 4 – кожух

Для оценки возможности использования рассматриваемой установки в производственном процессе были проведены расчеты, учитывающие параметры установки (температура, скорость движения конвейера и т.п.), габариты оснастки, а также время пайки. В результате было установлено, что поставленные задачи выполнимы, причем со значительным запасом производительности.

По полученным результатам экспериментов были построены графики зависимости добротности Z от времени пайки и температуры (рис. 6).

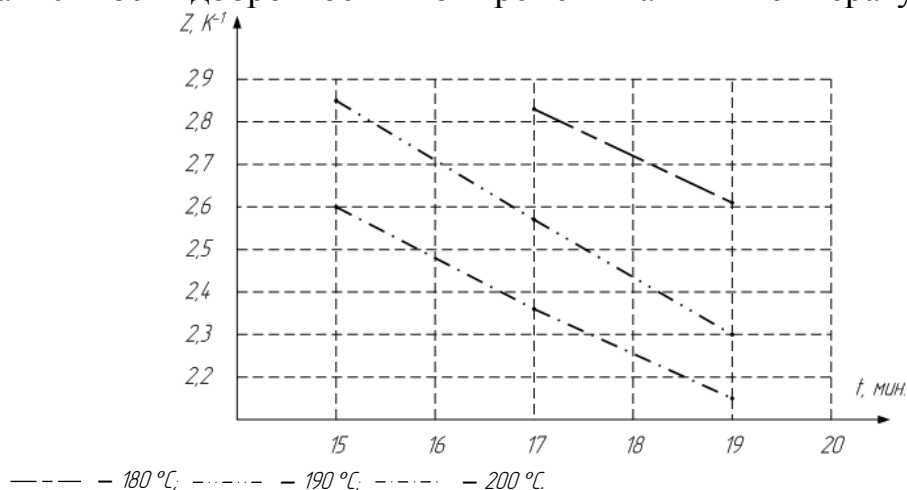


Рис. 6. График зависимости эффективности ТЭМ от температуры и времени пайки

Из графика зависимости эффективности ТЭМ от температуры и времени пайки (рис. 6) видно, что при температуре $T=180\text{ }^{\circ}\text{C}$ для осуществления спая не хватает пятнадцати минут, поэтому данный участок на графике не рассматривается. При увеличении времени пайки до семнадцати минут модули были успешно спаяны. При этом они обладали хорошими электрическими параметрами и имели достаточно высокое значение эффективности Z . Увеличив время пайки с 17 минут до 19, было получено, что среднее значение эффективности Z резко упало. Таким образом, при пайке модулей большое значение имеет время нагрева, а перегрев сильно сказывается на электрофизических параметрах ТЭМ.

При увеличении температуры пайки до $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ наибольшее значение эффективности было получено при времени пайки 15 минут. С увеличением времени пайки до 17, а затем и до 19 минут результаты оказались хуже, что опять же связано с перегревом. При этом среднее значение Z при $T=190\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t=15$ мин. немного выше, чем при температуре $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t=17$ мин.

ТЭМ спаянные при температуре $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ имеют намного хуже характеристики и в большинстве своем были отнесены к числу бракованных. Здесь также наблюдался значительный спад эффективности Z при увеличении времени пайки.

О качестве и стабильности характеристик можно судить по значению среднеквадратичного разброса по величине эффективности S_z .

Таким образом, наиболее подходящими условиями для пайки ТОУ на установке ИК-термообработки являются $T=190\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t=15$ минут.

Сравнивая параметры ТОУ, выполненных по старой и новой технологии, было получено, что характеристики термоэлектрического охлаждающего устройства улучшились. Добротность устройств была повышена до 2,7–2,9. При этом значительно ускорился процесс производства ТОУ и увеличился объем выпускаемой продукции. Наилучшими характеристиками обладали модули, пайка которых проводилась при температуре $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ и времени 15 минут.

В заключение отметим следующее. Термоэлектрические охлаждающие устройства (ТОУ) применяются для охлаждения и термостатирования термочувствительных элементов радиоэлектронной и оптической аппаратуры, а также в бытовых и транспортных холодильниках, термостатах, медико-биологических приборах и др. Эти устройства имеют ряд принципиальных преимуществ перед обычными системами принудительного охлаждения: компактность, легкость регулировки температуры, малую инерционность. Они отличаются простотой управления, возможностью точного регулирования температуры, бесшумностью, хорошими массогабаритными показателями, высокой надежностью работы и имеют практически неограниченный срок службы.

Следует отметить, что проблема охлаждения компьютерной техники является важной. Таким образом, поиск и применение на практике новых высококачественных систем охлаждения является актуальным. Мы считаем, что термоэлектрические охлаждающие устройства перспективны для применения в компьютерной технике в качестве охладителей.

Заключение. Предложенная технология изготовления устройств позволит увеличить добротность ТОУ, частично заменить ручной труд и сократить время, затрачиваемое на пайку одного устройства, сократить разброс значений добротности ТОУ, повысить их качество и надежность. Термоэлектрические охлаждающие устройства перспективны для применения в компьютерной технике в качестве охладителей.

Библиографический список

1. Анатычук, Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства [Текст] : справочник / Л.И. Анатычук. – Киев : Наукова думка, 1979.
2. Цидильковский, И.М. Термомагнитные явления в полупроводниках [Текст] / И.М. Цидильковский. – М., 1960.
3. Бонч-Бруевич, В.Л. Физика полупроводников [Текст] / В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. – М. : Наука, 1990.

РАЗДЕЛ 7

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 551.5:004

Kim I.I., Kim I.A.

REGIONAL EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION USING REMOTE SENSING AND GIS TECHNIQUES

Abstract

This paper presents the results of evapotranspiration (ET) estimation in a part of Western Uttar Pradesh, India from satellite data of MODIS/Aqua using methods of S-SEBI (Simplified Surface Energy Balance Index) and Modified Priestly-Taylor. For S-SEBI method, evaporation fraction was estimated by parameterizing isolines of maximum sensible heat flux (H_{max}) and maximum latent heat flux (ET_{max}) from LST/albedo feature scatter plot. Incoming solar radiation by establishing relationship between measured solar radiation and cloud fraction was obtained. The cloud fraction from MODIS has shown good agreement and explained 70% of variability in incoming solar radiation. Net radiation parameter with pixel size of 1km was computed using variable parameters such as solar radiation (R_s), surface emissivity, albedo, surface temperature and ambient air temperature from remotely sensed and ground station data. In the case of Modified Priestly-Taylor method, incoming solar radiation, air temperature and albedo were directly used as model inputs.

Introduction

Nowadays humanity is facing to global food crises because the most of agricultural lands are degraded. Initial cause of this is irrational usage of nature resources and applying of unadapted agricultural systems to local conditions that is enhancing by global warming. Therefore the primary intent of successfully agricultural practice is assessment the environment conditions in order to suit appropriate agricultural systems for sustainable development of the region. Evapotranspiration is the most important component of water and energy balances of the Earth's surface and is essential for understanding climate dynamics and ecosystem productivity, Doorenbos and Pruitt (1977); Allen et al. (1998).

As a result of many studies, estimation of ET becomes available via a number of methods using surface meteorological observations. However, these ground observation networks cover only a portion of global land surface. Nowadays, satellite remote sensing gives opportunities to monitor land surface conditions on different spatial and temporal resolutions. Recently, significant progress has been made to estimate actual evapotranspiration (ET_a) using satellite remote sensing Engman and Gurney (1992), Kustas and Norman (1996, 2003), Bastiaanssen *et al.* (1998, 2002), Roenrik G.J., Su Z., Menenti M. (2000) and many others. These methods provide a powerful means to compute ET_a from the scale of an individual pixel right up to an entire raster image.

The derivation of large scale continuous fields of surface characteristics is possible only by the use of high resolution satellite imagery. Hence, application of Aqua data is highly advantageous compared to other sensors. MODIS has improved spectral and radiometric resolution compared to older sensors such as NOAA/AVHRR for deriving surface temperature as well as vegetation indices. The acquisition of MODIS data is easy and also available at free of cost.

Satellite based Priestly Taylor and S-SEBI models for estimation actual evapotranspiration are easy to use as require few ground station data and relate to model simulated crop development, irrigation schedule and soil water status. The objectives of this study is to estimate evapotranspiration at regional scale from MODIS data using Modified Priestly – Taylor and S-SEBI models, and to evaluate retrieved results with Penman-Monteith, Hargreaves methods and pan evaporation data.

Description of the study region and data acquired

Western Uttar Pradesh including Meerut, Ghaziabad, Gautambudhnagar, Gautmbudhnagar, Baghpath and Muzaffarmagar districts are known for input intensive agriculture. The study area extends from 26.04° N to 30.21° N latitudes and from 77.03° E to 80.04° E longitudes. The river Ganges provides the boundary to the region in the North separating it from hilly areas and Tarai regions of Uttar Pradesh. In the West, river Yamuna separates it from Haryana and union territory of Delhi (Fig. 1).

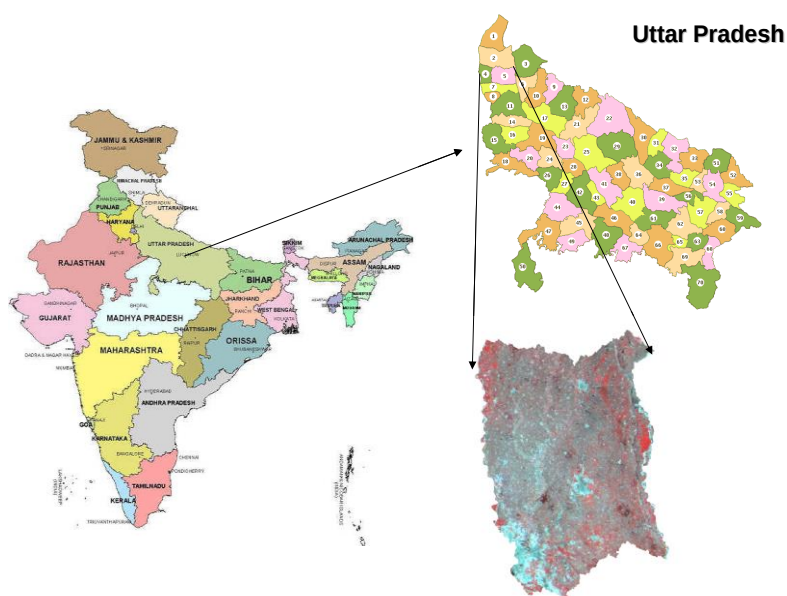


Fig. 1. Location of the study area

The climate of the Western Uttar Pradesh is tropical monsoon, but variations exist because of difference in altitudes. The average temperature varies in the plains from $3-4^{\circ}\text{C}$ in January to $43-45^{\circ}\text{C}$ in May and June. There are three distinct seasons – the cold season from October to February, summer from March to Mid June and the rainy season from Mid June to September.

Rainfall regime in is highly irregular, uncertain and unevenly distributed. About 80 % of the total rainfall is received in rainy season. Floods are a recurring problem of the state, causing damage to crops, life and property. The problem in the western districts is mainly poor drainage caused by the obstruction of roads, railways, canals, new built-up areas etc. There is water logging in the large areas. Long dry spells are usually experienced during winter season. A small amount of precipitation is received during dry spells of winter months provide boost to rabi season crops.

Based on Soil Taxonomy Classification System, main soil order in the study area is Inceptisols which formed by alluvial genesis, coarse to medium in texture and moderately alkaline in reaction. In general, soil color in Western Uttar Pradesh is dark grey indicating high organic matter content. However the region is spread with loam and silty to silty clay loam in most parts of the region. In general, soil resources are responsive to good cultivation practices.

Based on statistical data, nearly 75 % of the total cropped area in the region is exploited for agricultural purpose with double cropping system is common practice in about 57 % of the area. Irrigation facility exists for about 91 % of the area indicating thereby that opportunities are available to increase cropping intensity in the area. Average land holding size is 1.12 ha in comparison to 0.93 ha in Uttar Pradesh. The cropping intensity of this region is 157 % which is higher than state average of 147 %.

Crop production is the main enterprise of farming community. Dairying forms another farming enterprise in the region. Agro-horticulture and Agro-Forestry are emerging enterprises of farming system in the study area. During winter season wheat is the dominant commercial crop cultivated in this region.

Three crops of sugarcane – ratoon – wheat is the most popular practice in the study area. Other cropping systems followed in this region are sorghum – wheat, rice – wheat and pearl millet – wheat. Both wheat and sugarcane cover more than 57% of the cropped area. Rice and rapeseed and mustard are other important crops.

Satellite data

Remotely sensed data of MODIS/Aqua products (clear sky 5 day repetition) from December, 2007; 2003 to March, 2008; 2004 were used for the study: Surface reflectance (pixel size of 500 m), Land surface temperature (1000 m), Cloud fraction (0.1 degree).

Meteorological data

Daily minimum and maximum air temperature, incident short wave radiation, extraterrestrial radiation (December, 2003 – March, 2004), pan evaporation data (December, 2007 – March, 2008) were collected from weather stations: Meerut (77,63 E; 29,01 N), Karnal (77,03 E; 29,70 N), Rohtak (76,58 E; 28,83 N), Hissar (75,73 E; 29,16 N), Bhiwani (76,13 E; 28,80 N).

Methodology

The Modified Priestly – Taylor method is described by equation below:

$$ET_{eq} = R_s(0,00488 - 0,00437\alpha)(T_d + 29), \quad (1)$$

$$ET_o = 1,1ET_{eq}, \quad (2)$$

where ET_o – potential evapotranspiration, mm/day; ET_{eq} – equilibrium evaporation, mm/day; R_s – incident short wave radiation, MJ/m²/day; α – albedo; T_d – daily mean temperature, °C, ET_o – daily potential evapotranspiration, mm/day (Meyer Wayne S, et al., 1999).

For computation of ET_o by Modified Priestly – Taylor method the flow chart below (Fig. 4) was applied.

Albedo of Aqua/MODIS data computes by equation developed Lucht et al., 2000:

$$\alpha = 0,160 \alpha_1 + 0,291 \alpha_2 + 0,243 \alpha_3 + 0,116 \alpha_4 + 0,112 \alpha_5 + 0,081 \alpha_7 - 0,0015 \quad (3)$$

where $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_7$ – spectral reflectance of bands 1, 2, 3, 4, 5, 7 accordingly.

As data of air temperature and short wave radiation was not available, we had to apply correlation analysis of available data for previous year. In order to get air temperature of study period, the regression equation dependence air temperature of LST of 2003 year was found and retrieved coefficients were applied for calculation of T_a of December, 2007-March, 2008 (Fig. 2). Thus, $T_a = 0.7561 LST + 72.419$, where T_a – mean air temperature, K; LST – mean land surface temperature, °K. For getting the incident short radiation data, R_s/R_a of Cloud fraction regression equation was found (Fig. 3). Thus, $R_s/R_a = -0,2647 f + 0,6849$, where R_s/R_a – relationship of incident short wave radiation to extraterrestrial radiation; f – cloud fraction.

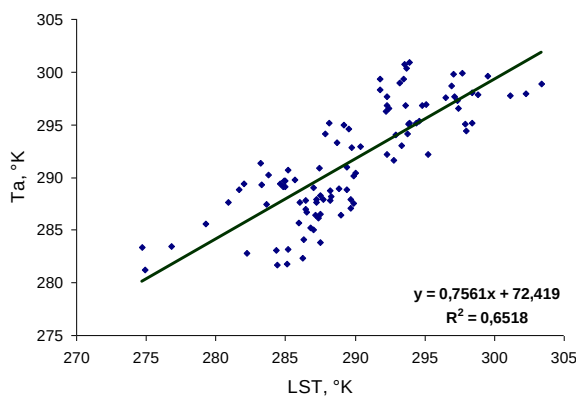


Fig. 2. Air temperature to Land Surface temperature relationship

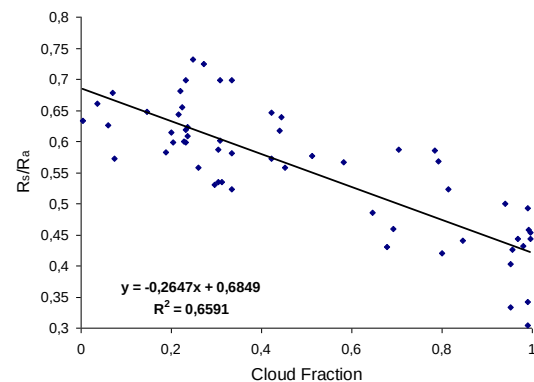


Fig. 3. R_s/R_a to Cloud fraction relationship

Soil Energy Balance index (SEBI) method is based on evaporative fraction (Λ) calculation, which is the ration between the latent heat flux and the available energy at the surface, could be assumed as a diurnal constant:

$$\lambda = \lambda E / (\lambda E + H) = \lambda E / (R_n - G_o), \quad (4)$$

$$ET_a = \lambda (R_n - G_o), \quad (5)$$

where λ – evaporative fraction, E – latent heat flux, mm/day; λ – latent heat of vaporization, MJ/kg; H – sensible heat flux, mm/day; R_n – net radiation, mm/day; G_o – soil heat flux, mm/day (G.J. Roenrink, Z. Su Menenti, 2000).

For computation of ET_a by S-SEBI method the follow chat below was applied algorithm below (Fig. 5).

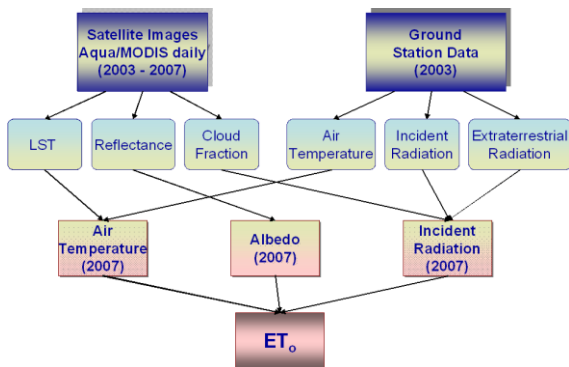


Fig. 4. Flow chart for ET_0 estimation based on Modified Priestly – Taylor Method

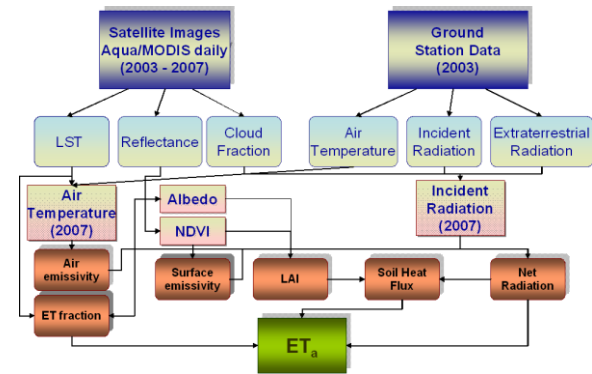


Fig. 5. Flow chart for ET_a estimation based on S-SEBI method

It has been observed that surface temperature and reflectance of areas with constant atmospheric forcing are correlated and that the relationship can be applied to determine the effective land surface properties. Due to the increasing of reflectance (albedo), the available energy decreases as a result of the decrease of net radiation. This process leads to the decrease of the temperature with increasing reflectance.

For each pixel the surface reflectance, α , and surface temperature T_0 are determined; where temperature is related to soil moisture and thus the fluxes. Together with a reflectance dependent temperature, T_{ET} , where $ET_{max}(\alpha) = R_n - G_o$ and $H = 0$ and a reflectance dependent temperature, T_H , where $H_{max}(\alpha) = R_n - G_o$ and $ET = 0$ the evaporative fraction is calculated as the ration of:

$$\lambda = \frac{T_H - T_0}{T_H - T_{ET}}. \quad (6)$$

The triangular shape of the feature space plot reveals the two reflectance to temperature relationships for $ET_{max}(\alpha)$ and $H_{max}(\alpha)$ which are plotted in Fig. 7. They can be described by:

$$T_H = a_H + b_H \alpha, \quad (7)$$

$$T_{ET} = a_{ET} + b_{ET} \alpha, \quad (8)$$

where the regression variables a and b can be found in Table 1.

Table 1

**Regression coefficients of the reflectance (albedo) to
temperature relationship**

Day	T_H			T_{ET}		
	A	b	R^2	a	b	R^2
348	301.12	-32.94	0.62	289.78	19.34	0.69
355	311.65	-66.78	0.97	290.86	34.41	0.98
362	309.90	-66.25	0.99	285.13	52.08	0.99
364	306.59	-46.241	0.84	283.31	83.44	0.99
001	310.52	-79.99	0.92	281.10	90.88	0.94
011	305.08	-47.78	0.98	290.36	14.42	0.81
013	308.33	-65.52	0.95	285.01	47.66	0.96
020	298.20	-3.41	0.99	290.87	2.71	0.97
027	304.94	-48.35	0.94	276.23	84.33	0.94
031	324.44	-134.70	0.96	299.61	-41.61	0.96
043	317.35	-104.13	0.99	299.05	-35.99	0.98
049	312.08	-41.62	0.99	292.26	26.74	0.96
051	330.85	-174.24	0.95	297.16	-5.19	0.64
056	316.10	-79.13	0.96	302.67	-53.10	0.99
061	410.25	-623.47	0.97	308.82	-56.08	0.98
065	347.40	-243.04	0.93	307.28	-49.24	0.96

NDVI computes using NIR and R bands. LAI can be calculated by:

$$LAI = \left(NDVI \frac{(1 + NDVI)}{(1 - NDVI)} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (9)$$

where $NDVI$ – normalized difference vegetation index; LAI – leave area index.

Soil heat flux calculates by:

$$G = 0,4 \exp^{(-0,5LAI)} R_n. \quad (10)$$

Net radiation flux computes as:

$$R_n = (1 - \alpha) \cdot R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow}, \quad (11)$$

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \sigma T_a^4, \quad (12)$$

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_s \sigma T_s^4, \quad (13)$$

where $R_{s\downarrow}$ – incoming short wave radiation, W/m^2 ; α – surface albedo; $R_{L\downarrow}$ – incoming longwave radiation, W/m^2 ; $R_{L\uparrow}$ – outgoing longwave radiation, W/m^2 ; ε_a – air thermal emissivity; ε_s – surface thermal emissivity; σ – Stefan – Boltzman constant, $5.674 \cdot 10^{-8} W/m^2/^\circ K^4$; T_a^4 – air temperature, $^\circ K$; T_s^4 – surface temperature, $^\circ K$ (Ward Andy D., Elliot William J., 1995).

Swinbank, 1963 proposed to express air emissivity as:

$$\varepsilon_a = 0,92 \cdot 10^{-5} T_a^2. \quad (14)$$

Surface emissivity is possible to find as (Vande Griend, Owe, 1993):

$$\varepsilon_s = 1,0094 + 0,047 \cdot \ln NDVI. \quad (15)$$

For evaluation these two methods, ET data around Meerut Weather Station was extracted and compared with ET data calculated by Penman – Monteith, Hargreaves methods and with pan evaporation data.

Penman-Monteith ET equation:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}, \quad (16)$$

where ET_o – potential evapotranspiration, mm/day; R_n – net radiation, MJ/m²/day; G – soil heat flux, MJ/m²/day; T – mean air temperature at a high of 2 m, °C; u_2 – wind speed at a high of 2 m, m/s; e_s – saturation vapour pressure, kPa; e_a – actual vapour pressure, kPa; $e_s - e_a$ – saturation vapour pressure deficit, kPa; Δ – slope vapour pressure curve, kPa °C⁻¹; γ – psychrometric constant, kPa °C⁻¹.

Hargreaves ET equation:

$$ET_o = 0,0023R_a(T + 17,8)(T_{\max} - T_{\min})^{1/2}, \quad (17)$$

where R_a – water equivalent of the extraterrestrial radiation, mm/day; $T_{\max}$ and $T_{\min}$ and T are the daily maximum, minimum and mean air temperature, °C; 0,0023 – original empirical coefficient proposed by Hargreaves and Samani, 1985.

Results And Discussion

Determination of evapotranspiration from satellite data requires derived albedo, NDVI, land surface temperature and some ground meteorological data (maximum and minimum air temperature, incident short wave radiation). *Albedo* values computed by equation for MODIS and for the study period it has average minimum value in December 0.11 and maximum 0.26 at the end of March and. Images with clouds were appreciated. *NDVI* is important component of soil heat flux, surface emissivity and crop coefficient determination. Within study season it was varied from 0.09 in December to 0.51 in March subjected to vegetation cover expansion.

Estimation of evapotranspiration by S-SEBI model requires determination of the components of energy balance such as net radiation (R_n) and soil heat flux (G). Net radiation was obtained after estimating of incoming short wave, incoming and outgoing long wave radiation. Incoming short wave radiation was derived from regression equation of dependence between R_a/R_o and cloud fraction.

Net radiation flux (R_n) is found to be varying from 20.85 to 128.91 W/m² during the study period. Temporal variation of average net radiation was analyzed and is illustrated in the Fig. 6. In the initial week of the crop season net radiation is observed to be increasing as vegetation cover is increasing too. Due to atmospheric effects: haze, fog in the middle of December and in the last week of January net radiation was reduced.

Distribution of the *soil heat flux (G)* during the study period repeated the variation of the net radiation but at lower level (from 4.86 to 27.62 W/m²) is illustrated in the Fig. 6. In the initial stage of the season the average soil heat flux has negligible values and higher values observed at the end of crop season due to increasing air temperature.

Evapotranspiration cannot be measured directly from satellite observations but a reasonably good estimate of *evaporative fraction (f)* has been obtained by using a contextual interpretation of radiometric surface temperature and reflectance (albedo). Evaporaporation fraction indicates the fraction of available energy being converted to evaporation and during study period was changed from 0.26 to 0.92 (Fig. 8). It is reliable indicator of the soil moisture

status and vegetation cover density. And also is the function of microclimatic parameters of the agriculture field, particularly of turbulent exchange between surface and atmosphere.

Actual evapotranspiration (ET_a) was computed using S-SEBI model and illustrated in the Fig. 9. In general ET_a demand of the crop increases with a vegetation growth of the crop. Average values of daily ET_a ranged from 0.70 in the beginning of the crop season. During the maximum accumulation of vegetable substance was reached to 3.01 mm/day (Fig. 7).

Basically Modified Priestly-Taylor method is used for *potential evapotranspiration (ET_o)* determination. So, temporal distribution of ET_o is shown in the Fig. 10, the values are varied from 1.85 to 4.81 mm/day. Average values ET_a computed from Priestly-Taylor ET_o data is belonged to the range from 1.10 to 3.38 mm/day (Fig. 7).

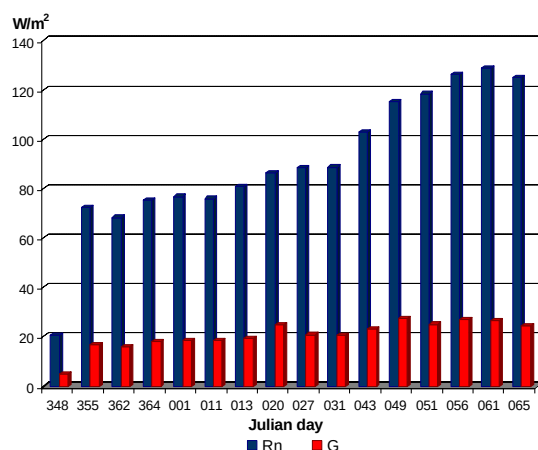


Fig. 6. Net radiation (R_n) and Soil heat flux (G) distribution

During data processing was explored that values of ET_a retrieved from Modified Priestly – Taylor method is overestimated as compared with ET_a retrieved from S-SEBI method in average 0.58 mm (Fig. 7). In the beginning of vegetation season deference between average ET_a values computed from Priestly-Taylor and ET_a values based on S-SEBI method is higher (0.77 mm/day) than at the end of vegetation period (0.39 mm/day).

Thereby computational method of ET estimation is better to apply while dense vegetation covers. In the case of open vegetation the dispersion of ET values of these two methods is rather wide.

For evaluation analysis values of ET based on modified Priestly-Taylor and S-SEBI methods was extracted around Meerut Weather Station (77°38'E; 29°01'N) from 3 points (1): 77°37'E; 29°59'N; 2): 77°36'E; 29°03'N; 3):

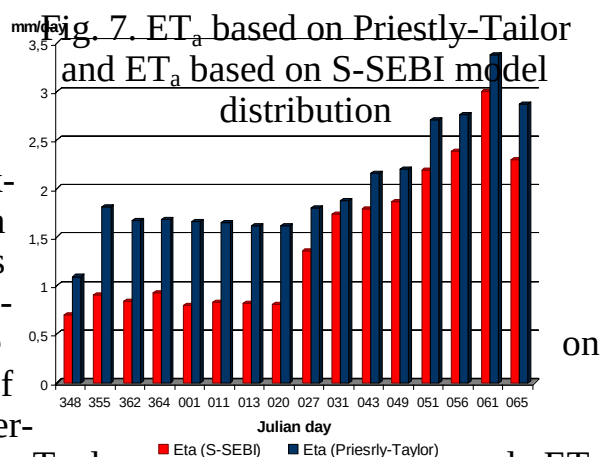


Fig. 7. ET_a based on Priestly-Taylor and ET_a based on S-SEBI model distribution

77°38'E; 29°02'N) and retrieved mean values were used. Based on ground station information ET_o had been computed using two methods: Penman-Monteith and Hargreaves. Retrieved data of ET were also compared with pan evaporative data.

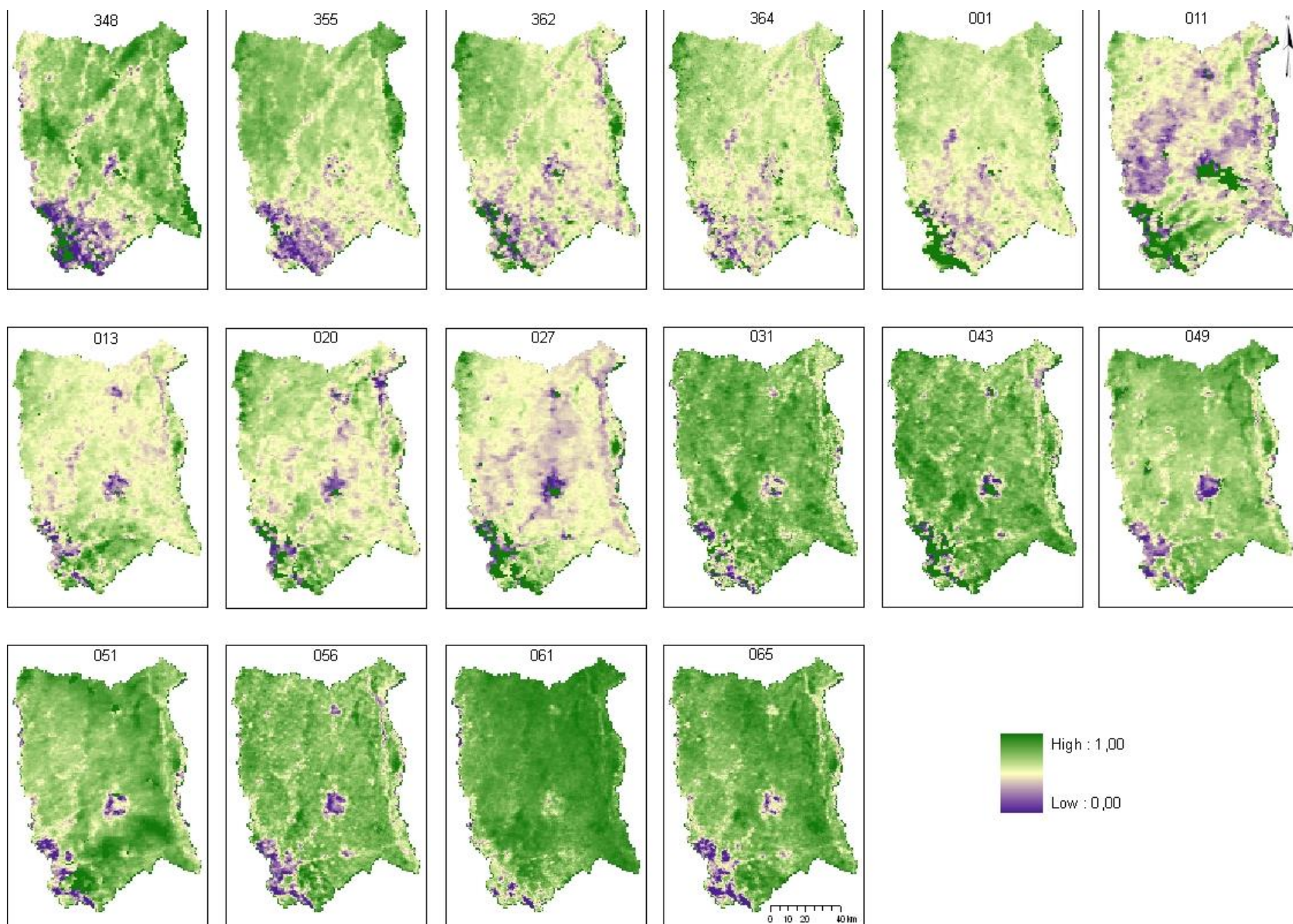


Fig. 8. Evaporation fraction

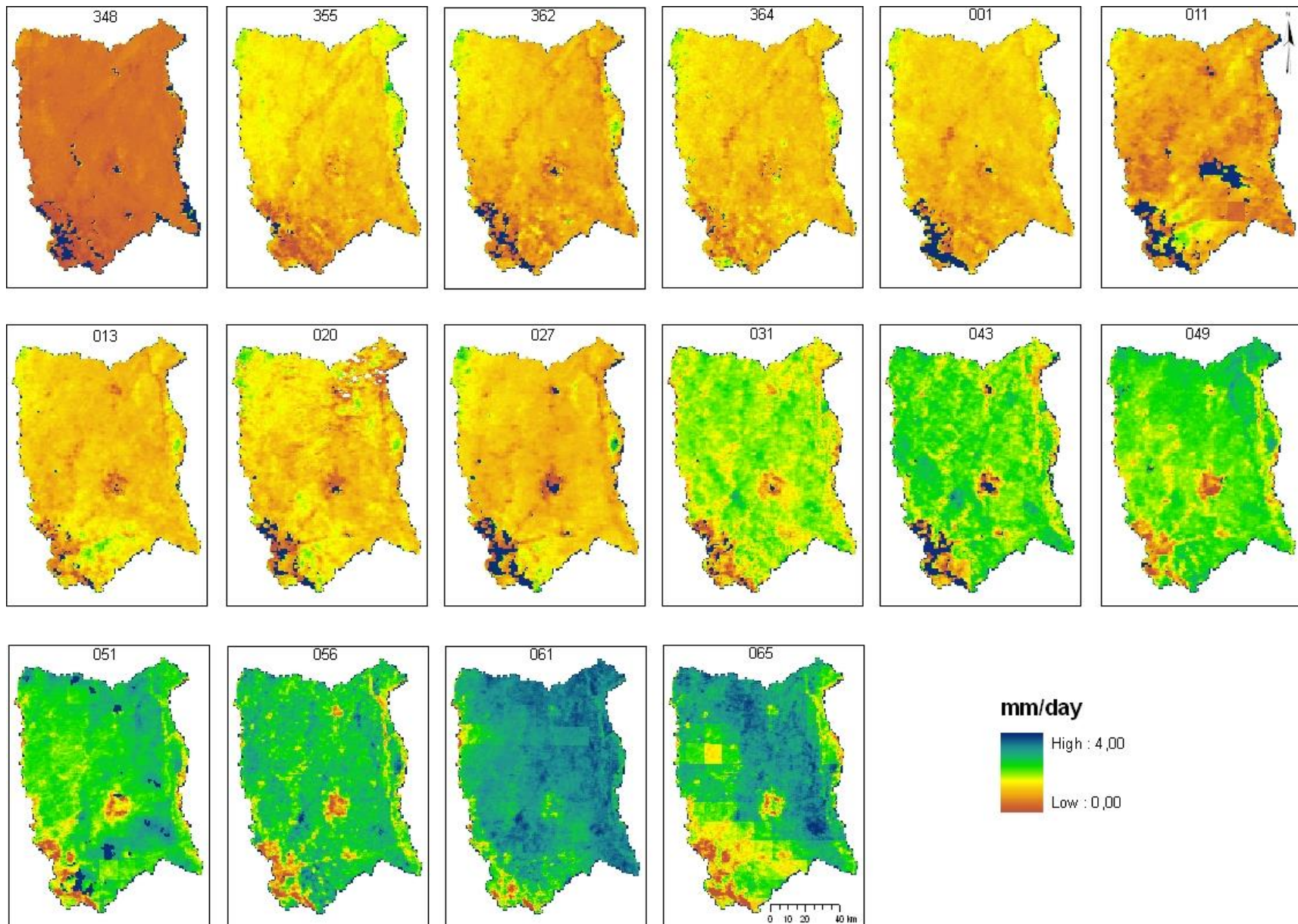


Fig 9. ET_a determined by S-SEBI method

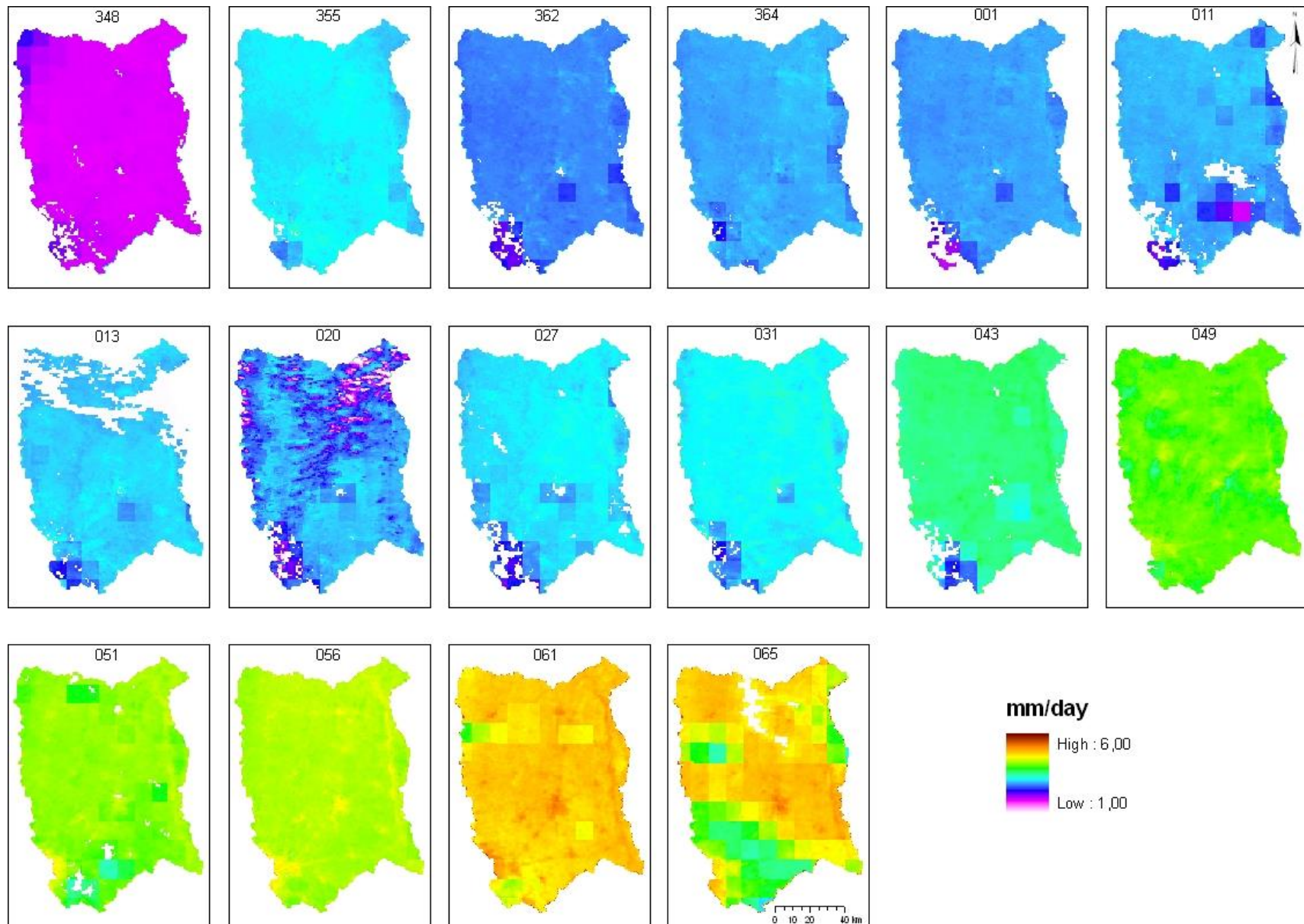


Fig. 10. ET_0 determined by Modified Priestly – Taylor method

The ET_o values computed by modified Priestly-Taylor method were compared with ET_o values derived from Penman-Monteith, Hargreaves methods and pan evaporation data (Fig. 11).

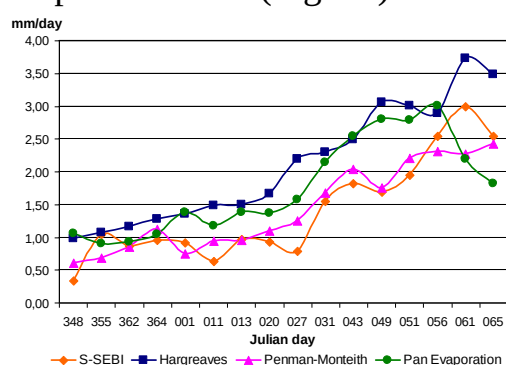


Fig. 11. ET_o based on Modified Priestly-Taylor, Penman-Monteith, Hargreaves methods and pan evaporation data (Meerut Weather Station)

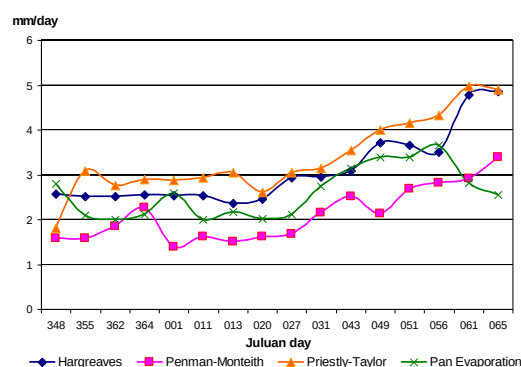


Fig. 12. ET_a based on S-SEBI, Penman-Monteith, Hargreaves methods and ET_a derived from pan evaporation data (Meerut Weather Station)

The values of ET_o based on Modified Priestly-Taylor extracted around Meerut Weather Station are also overestimated as compared with ET_o based pan evaporation data, ET_o based on Penman-Monteith and Hargreaves (Fig. 11, 13).

Relationships between ET_o based on Modified Priestly-Taylor and pan evaporation data, Penman-Monteith and Hargreaves methods are illustrated in the Fig. 13 (a, b, c). Good agreement ET_o based on Modified Priestly-Taylor was got with Hargreaves methods ($R^2 = 0.83$; $RMSE(\sigma) = 0.00$), against to Penman-Monteith methods ($R^2 = 0.75$; $\sigma = 0.00$). Probably it can be explained that Modified Priestly-Taylor method was developed for potential evapotranspiration and for more humid climate. Unfortunately with pan data there is no correlation ($R^2 = 0.29$; $\sigma = 0.12$).

The ET_a based on S-SEBI method was compared with ET_a values derived from Penman-Monteith and Hargreaves methods too (Fig. 12). For getting actual evapotranspiration crop coefficient derived from NDVI was used.

In the beginning period of vegetation season ET_a curves are rather closed to each other, but at the end of vegetation some dispersion is observed. However, all these three methods (S-SEBI, Penman-Monteith and pan evaporation) show the similar trend.

Correlation analysis illustrates in the Fig. 13 (d, e, f). The best agreement has been established between ET_a based on S-SEBI and ET_a based Penman-Monteith methods ($R^2 = 0.86$; $\sigma = 0.22$). Correlation between S-SEBI method and Hargreaves method is lower ($R^2 = 0.83$; $\sigma = 0.30$). Agreement between ET_a based on S-SEBI and ET_a derived from pan evaporation data is 0.56; $\sigma = 0.20$.

S-SEBI method is of the highest practical utility as far as components energy balance are considered and the primary information of climate components as albedo and land surface temperature is directly retrieved from remote sensing data. The most important aspect is that this estimation provides pixel wise ET information demand of the crop and also soil and vegetation moisture status. On the other hand, other methods of point based estimates, are inadequate for quantify spatial variation in the energy fluxes interaction.

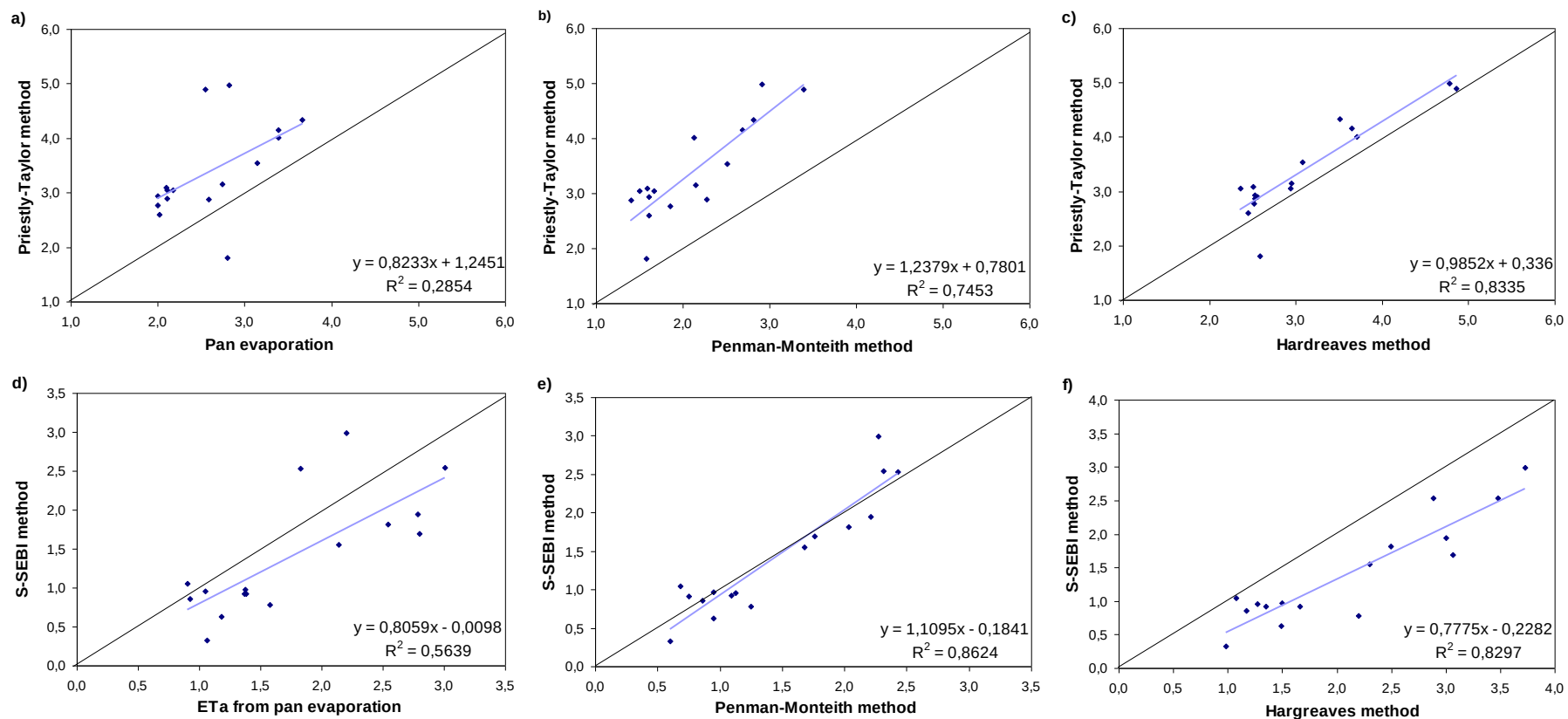


Fig. 13. Relationships between ET_0 based on modified Priestly-Taylor method and:
a) pan evaporation data, b) ET_0 based on Penman-Montieth, c) ET_0 based on Hargreaves methods;
Relationships between ET_a based on S-SEBI method and d) pan evaporation data,
e) ET_a based on Penman-Montieth, f) ET_a based on Hargreaves methods.

Thus for conditions of Western Uttar Pradesh the most suitable method for evapotranspiration estimation is S-SEBI method. The study results show closely relationship with Penman-Monteith method ($R^2 = 0.86$; $\sigma = 0.22$). For pan evaporation data correlation is not much high ($R^2 = 0.56$; $\sigma = 0.20$), so it is recommended that to use regression equation $y = 0.6997x + 0.7734$.

Conclusion

- Based on biophysical crop production model (Penman-Monteith, FAO, 1998) could be efficiently used for practical ET estimation and irrigation scheduling, however it needs frequent validation with field data.

- Remote sensing data allow getting pixel wide information that help to estimate ET parameters by regional scale as compared with methods of point based estimates that are inadequate for quantify spatial variation in the energy fluxes interaction. Regional ET estimation using remote sensing data requires extraction such climatic parameters as albedo, and land surface temperature. The accuracy of ET depends on the accuracy of these parameters. Hence, application of Aqua MODIS data is highly advantageous as have improved spectral and radiometric resolution and acquisition of MODIS data is easy and also available at free of cost.

- Analysis of satellite data showed that within vegetation season (December – March) the vigor of crop increases from the beginning to the end that leads to increasing NDVI in this area (from 0.09 till 0.51).

- Modified Priestly-Taylor method is used for potential ET determination. Range of average values ET_a computed from Priestly-Taylor ET_o data is from 1.85 to 4.81 mm/day. Good agreement ET_o based on Modified Priestly-Taylor was got with Hargreaves methods ($R^2 = 0.83$; $\sigma = 0.00$), against to Penman-Monteith methods ($R^2 = 0.75$; $\sigma = 0.00$). But with pan data there is no correlation ($R^2 = 0.29$; $\sigma = 0.12$).

- ET estimation by S-SEBI method is based on estimate of evaporative fraction determination. During the study period was changed from 0.26 to 0.92. ET_a demand of the crop increases with a vegetation growth of the crop. Average values of daily ET_a ranged from 0.70 in the beginning of the crop season. During the maximum accumulation of vegetable substance was reached to 3.01 mm/day. The best agreement has been established between ET_a based on S-SEBI and Penman-Monteith methods ($R^2 = 0.86$; $\sigma = 0.22$). Between S-SEBI and Hargreaves methods correlation is lower ($R^2 = 0.83$; $\sigma = 0.30$). Agreement between ET_a based on S-SEBI and ET_a derived from pan evaporation data is 0.56; $\sigma = 0.20$.

– The comparative analysis reveals that ET_o values based on Priestly-Taylor method are overestimated against to pan evaporation data ($R^2 = 0.28$; $\sigma = 0.12$), Penman-Montieth ($R^2 = 0.75$; $\sigma = 0.00$) and Hargreaves methods ($R^2 = 0.83$; $\sigma = 0.00$) and also to S-SEBI method. So, for condition of Western Uttar Pradesh this method is not acceptable.

– Hence the more suitable method of ET estimation for conditions of Western Uttar Pradesh is S-SEBI method. That is shown high correlation with ground weather data based estimates like Penman-Montieth and Hargreaves. Unfortunately, correlation with pan evaporation data is not high ($R^2 = 0.56$), so is recommended to use regression equation: $y = 0.6997x + 0.7734$.

References

1. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrig. and Drain. Pap. 56, 300 pp., Food and Agric. Organ. of the U. N. (FAO), Rome, Italy.
2. Bastiaanssen, W.G.M., 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology* 229: pp. 87–100.
3. Bastiaanssen, W.G.M., M. Menenti, R.A. Feddes and A.A.M. Holtslag, 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL), part 1: formulation, *Journal of Hydrology*: pp. 198–212.
4. Crago R.D., 1996. Comparison of the evaporative fraction and Priestly-Taylor method for the parameterizing daytime evaporation. *Water Resour. Res.* 32 (5): pp. 1403–1409.
5. Crago R.D., 1996. Conservation and variability of the evaporative fraction during the day time. *Journal of Hydrology*. 180: pp. 173–194.
6. Farah, H.O., W.G.M. Bastiaanssen and R.A. Feddes, 2004. Evaluation of the temporal variability of the evaporative fraction in a tropical watershed, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5: pp. 129–140.
7. García Mónica, Villagarcía Luis, Contreras Sergio, Domingo Francisco and Puigdefábregas Juan, 2007. Comparison of Three Operative Models for Estimating the Surface Water Deficit using ASTER Reflective and Thermal Data. *Sensors*, Vol. 7: pp. 860–883.
8. Gavilán P., Lorite I.J., Tornero S., Berengena J., 2006. Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment. *Agricultural Water Management*, Vol. 81: pp. 257–281.

-
9. Kustas WP, GR Diak and MS Moran, 2003. Evapotranspiration, Remote Sensing of. Encyclopedia of Water Science: pp. 267–274. Marcel Dekker, Inc., New York.
 10. Meyer Wayne S., Smith David J., Shell Graeme, 1999. Estimation of reference evaporation and crop evapotranspiration from weather data and crop coefficients. An addendum to AWRAC Research Project 84/162 Quantifying components of water balance under irrigated crops. CSIRO Land and water, Technical Report 34/98.
 11. Moran, S.M., Jackson, R.D., 1991. Assessing the spatial distribution of evaporation using remotely sensed inputs. J. Environ. Qual. 20: pp. 725–737.
 12. Roenrik G.J., Su Z., Menenti M., 2000. S-SEBI: A Simple remote sensing algorithm to estimate the surface Energy Balance. Phys. Chem. Earth (B), Vol. 25, № 2: pp. 147–157.

РАЗДЕЛ 8

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

УДК 378.147
Светлаков А.Н.

О РОЛИ КОГНИТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В ПРЕПОДАВАНИИ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗАХ

Рассмотрены вопросы стратегии преподавания высшей математики и родственных дисциплин с учетом лево-правополушарного мышления обучаемых, основанные на идеях кн. А.М. Белосельского-Белозерского, Д. Гильберта, В.И. Арнольда.

Введение. Общеизвестно, что недооценка роли правополушарного мышления в XX в. негативно сказалась на прогрессе науки и образования. Необходимо поэтому уделять большее внимание когнитивной составляющей в преподавании. Предпосылками для этого является то, что практически все понятия преподаваемых в технических вузах математических дисциплин допускают геометрическую интерпретацию. Более того, почти всегда этапы алгоритмов решения задач также могут быть проиллюстрированы геометрически. Строгие же доказательства в силу недостаточной математической культуры студентов первых курсов и невозможности пока еще наладить междисциплинарные связи для них являются малоубедительными.

Представим компендиум из высказываний ученых, связанных с результатами нейропсихологии и нейропедагогики применительно к образованию.

И. Соньер (Франция) утверждал: «Обучая левое полушарие, вы обучаете только левое полушарие. Обучая правое полушарие, вы обучаете весь мозг».

Немецкий педагог Гербард писал, что плохой учитель преподносит истину, а хороший учит ее находить.

Ведущий специалист в области нейропедагогики профессор Н.Н. Трауготт: «Надо предостеречь школу от левополушарного обучения. Это воспитывает людей, не способных к реальным действиям в реальной ситуации».

Профессор Т.П. Хризман: «Исчезают правополушарники – генераторы идей. Вопрос стоит серьезно: надо спасать нацию».

Профессор Д.В. Колесов: «Истинное мышление – образное, комплексное, когда важно не только обозначить понятием, но и понять комплексно».

В книге А.Л. Сиротюк «Обучение детей с разным типом мышления» говорится о том, что *чем больше усилий приложено в процессе воспитания к доминированию логико-знакового мышления (левополушарное образование), тем больше усилий потребуется в дальнейшем для преодоления его ограниченности.*

В каждом полушарии представлены свои функции: в левом – речь, письмо, счет, в правом – восприятие пространственных отношений и не дифференцируемое словами опознание. За эти исследования Р. Сперри в 1981 г. получил Нобелевскую премию.

Правополушарные более успешны в изучении геометрии благодаря ее пространственной природе. Алгебра требует логики, последовательного мышления, что является преимуществом левополушарных учащихся.

Общество переоценивает роль левого полушария и логического мышления в становлении мыслительной деятельности ребенка. Школьные методики обучения тренируют и развивают главным образом левое полушарие, игнорируя, по крайней мере, половину возможностей ребенка.

Известно, что правое полушарие связано с развитием творческого мышления и интуиции.

Установлено, что левое полушарие отвечает за речь, письмо, счет, логическое мышление. Правое полушарие реализует мышление на уровне чувств, эмоций, образов.

Гипотеза, подтверждаемая многими экспериментами, выдвинутая в 1990-х гг. В. Ротенбергом, гласит: левое полушарие оперирует с информацией, сводящейся к *однозначному контексту* – отвечает за вербальное поведение, логическое (и математическое, а точнее – любое однозначное) мышление. Правое же полушарие способно целиком воспринимать *многозначный контекст*, интегрируя все многочисленные и даже противоречивые связи между объектами окружающего мира, оперируя с цельными образами окружающего.

Мы полагаем, что проделанный за последние десятилетия анализ и вытекающие из него выводы психологов и психофизиологов, касающиеся деформации в развитии функций – главным образом, логической (левополушарной) за счет образной (правополушарной), – заслуживают самого внимательного отношения со стороны педагогической психологии и непосредственного учета при построении любых программ развивающего обучения, в том числе и УМО.

Преподавание высшей математики в техническом вузе напоминает работу в условиях полного хаоса, когда процент непредусмотренных ситуаций становится более 20, т.к. мы имеем:

- очень широкий спектр начальной математической подготовки студентов, несмотря на наличие выпускных и вступительных экзаменов (это показывают данные десятилетнего тестирования);

- различные уровни мотивации студентов (боязнь отчисления, самлюбие, семейные традиции, а также существенную разницу их социально-бытовых условий);
- различную лево-правополушарную ориентацию обучающихся (женщины и жители северных широт – люди преимущественно правополушарные; наличие переученных правополушарников);
- отсутствие у большинства обучаемых междисциплинарных связей;
- студенты находятся на разных уровнях знаний и умений (круги разума кн. А.М. Белосельского-Белозерского [16]).

Стратегии работы в условиях полного хаоса

Анализируя сложившуюся ситуацию в преподавании, полагаем целесообразным прибегнуть к теории неформализуемых понятий [3], в частности теории мягких модулей В.И. Арнольда:

- наиболее легко понимаемые и привлекательные модели чаще всего дезориентируют на практике;
- исключительно опасной является операция оптимизации, поскольку оптимум ищется на базе существующего теоретического приближения и может оказаться просто гибельным в реальных условиях;
- поэтому любой теоретический совет требует двойной перепроверки: на, скажем грубо, линейном и нелинейном уровне;
- если линейное приближение брать в рядовой ситуации, достаточно далеко от оптимумов и особых точек, то оно, как правило, хорошо работает;
- если линейное приближение хорошо работает вблизи оптимума, то оптимум является потенциальной ямой, из которой будет трудно выбраться в случае изменения условий;
- в целом все вышеизложенное можно резюмировать следующим образом: оптимальность, устойчивость и жизнеспособность противоречат друг другу. В реальности, достигая двух из этих целей, мы убиваем третью;
- таким образом, нужно сознательно выбирать, чем жертвовать: устойчивостью или оптимальностью.

Следующая предпосылка возникла из теории уровней знаний и умений кн. Белосельского-Белозерского [13]:

- уровни знаний и умений – тонкие сферы в пространстве невежества и полужнания, между ними достаточно большие расстояния, и перейти ползком с одной на другую невозможно;
- по этой причине чуть недоученный человек лучше чуть переученного;

- достоинства некоторого уровня обычно становятся недостатками следующего, и наоборот, поэтому линии поведения на разных уровнях совершенно различны, по этой же причине высшие сферы отнюдь не обладают абсолютными преимуществами по сравнению с низшими;
- для высших уровней, начиная с уровня метода, знания и умения начинают обладать следующим общим свойством: они становятся в значительной мере независимы от конкретной предметной области и могут прикладываться во внешне совершенно несвязанных областях. Более того, конкретные их применения могут выглядеть для внешнего наблюдателя совершенно различными по форме, поскольку их связывают, прежде всего, высокоуровневые идеальные структуры;
- поэтому высокоуровневое знание, примененное в конкретной области, остается вещью в себе и выглядит случайной догадкой, пока оно не конкретизировано для людей, стоящих на более низких сферах;
- одной из высших сфер знания является сфера многоуровневого критического мышления, соответствующая теории неформализуемых понятий.

Отметим некоторые следствия данной концепции:

- позитивное мышление концентрируется на том, чтобы везде увидеть положительные стороны. Оно оптимистично и на первом уровне ведет к успеху;
- позитивное мышление заставляет закрывать глаза на неудачи. Оно соответствует подростковому мировоззрению и стратегии прямых действий, наименее эффективной и наиболее расточительной. А именно неудачи являются наиболее ценным источником информации о путях управления, если их, конечно, проанализировать жестко и спокойно;
- негативное мышление концентрируется на препятствиях и недостатках и на втором уровне на том, как использовать негативные факторы в положительную сторону;
- негативное мышление соответствует мировоззрению зрелых людей и стратегии непрямых действий;
- негативное мышление требует намного больших затрат интеллектуальных ресурсов, чем позитивное, оно специализируется на том, чтобы то, что выглядит как неудача, стало в конечном итоге ступенькой на пути к цели.

И, наконец, рассмотрим концепцию Д. Гильберта, которая также играет важную роль в нашем анализе. Ее основные для нас положения следующие:

- большинство высокоуровневых понятий не могут иметь прямой реализации на практике. Они требуют для применения подстановки в них других теоретических концепций и целых планов действий. И лишь после такой подстановки получается реализуемый объект;
- тем не менее действительно сильное решение получается лишь при их использовании. Проигрыш при использовании лишь эмпирических понятий просто фантастический: башня экспонент;
- эффективное решение характеризуется важнейшей ролью *призраков*: понятий, не присутствующих в конкретной программе (плане), но необходимых для ее осознанного применения и модификации. Примером такого призрака является уже предположение об устойчивости математической формализации системы. Устойчивость может быть проверена лишь косвенно, но без нее решение будет реализуемо лишь *в принципе*;
- обратной стороной призраков являются *подпорки*: то, что не нужно для решения задачи, но вставляется с тем, чтобы согласовать концепции с имеющимися инструментами либо чуть-чуть выиграть в эффективности.

Проведем статистический анализ известных курсов преподавания высшей математики на предмет наличия относительного количества иллюстративного материала на единицу объема пособия (ограничимся анализом курсов «Обыкновенных дифференциальных уравнений» и «Интегрального исчисления» как близких по содержанию).

«Обыкновенные дифференциальные уравнения»

[14]. $K=0.26$

[1]. $K=0.03$

[17]. $K=0.17$

[11]. $K=0.16$

[2]. $K=1.15$

[9]. $K=0.06$

[19]. $K=0.6$

[5]. $K=0.07$

[6]. $K=0.13$

[7]. $K=0.35$

«Интегральное исчисление»

[10]. $K=0$

[17]. $K=0.43$

[18]. $K=0.3$

[4]. $K=0.17$

[7]. $K=0.52$

Таким образом, коэффициент K , представляющий собой отношение количества рисунков к общему количеству страниц пособия, изменяется в пределах от $K=0$ [10] до $K=1.15$ [2]. Подавляющее число пособий имеет довольно низкий K . Та же самая ситуация прослеживается при анализе лекционных курсов Санкт-Петербургской лесотехнической академии, что не является исключением из правила.

1. Применение изложенных принципов к преподаванию курса «Обыкновенных дифференциальных уравнений»

Курс высшей математики для технических вузов может и должен быть богато иллюстрирован. Все основные понятия и шаги математических преобразований могут быть геометрически интерпретированы. Кроме того, студент гораздо лучше запоминает чертежи и картинки, чем текст и формулы. Отсюда следуют основные принципы построения учебника. Берутся основные понятия, теоремы и типы уравнений. Приоритет отдается тем типам уравнений и методам, которые допускают геометрическое истолкование. Применительно к курсу «Обыкновенных дифференциальных уравнений» важнейшими следует считать: теоремы существования и единственности решения задачи Коши, предварительный анализ уравнений с помощью изоклин, наиболее общие методы решения (метод вариации произвольной постоянной Лагранжа, метод интегрирующего множителя Эйлера и метод параметризации для уравнений не разрешенных относительно производной). Кроме того, важным считается вычерчивание интегральных кривых и, в частности, для случаев особых решений.

При решении обыкновенных дифференциальных уравнений студентам приходится применять знания и навыки из различных областей математики. Пробелы в какой-то составляющей могут вызвать трудности в быстром получении правильного решения.

Становятся важными демонстрационные примеры, в которых возможно быстро получить решение и, с другой стороны, провести конструктивный предварительный анализ. Для решения этих задач хорошим демонстрационным прототипом является уравнение Клеро $y = xy' + u(y')$, где $u(y')$ – нелинейная функция. Уравнение Клеро является обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка, не разрешенным относительно производной. Общее решение уравнения Клеро получается из вида самого уравнения подстановкой вместо y' произвольной постоянной.

Кроме того, уравнение Клеро обладает особым решением, график которого является огибающей семейства интегральных кривых.

Методически важны и простые частные случаи уравнения Клеро.

Например, при $u(y')=0$ получаем однородное, линейное уравнение, имеющее изоклины, совпадающие с интегральными кривыми (и те, и другие представляют собой всевозможные прямые, проходящие через начало

координат $y=Cx$). Предварительный анализ изоклин, т.е. линий, где $y'=\text{const}$ позволяет оценить вид интегральных кривых. Аналогичный случай получается при $y')=ay'$.

Приведем еще один пример: уравнение $y'^2 + 2x y' - 2y = 0$ является уравнением, не разрешенным относительно производной. В каждой точке оно задает два направления. Разрешая, получаем

$$y' = -x \pm \sqrt{2y + x^2}.$$

Решить его можно, подбирая в качестве общего решения полином с неопределенными коэффициентами. Решение линейно $y=Cx+C^2$.

При этом мы теряем особое решение $y=-0,5x^2$.

Можно, однако, заметить, что это уравнение Клеро $y=xy'+0,5y'^2$, тогда общее и особое решения его получаются сразу (это парабола ветками вниз и ее всевозможные касательные).

С уравнением Клеро связано преобразование Лежандра, сопоставляющее функции p функцию $g(x)=xG(x)+G(x)^2$ где $G(x)$ – функция, обратная к p .

Функция $y=g(x)$ и дает особое решение уравнения Клеро.

Например, для уравнения $y=xy'+y'^3$ $p=p^3$ $p'=3p^2$ $G(x)=(x/3)^{0,5}$.

Следовательно, особое решение $y=g(x)=x(x/3)^{0,5}+(x/3)^{1,5}=4(x/3)^{1,5}$.

Имеет смысл на экзамене требовать от студентов ответ по триединой схеме: «определение – рисунок – пример», а контрольные работы для студентов заочного отделения составлять так, чтобы большинство задач нужно было сопровождать графиками. Последнее затруднит применение систем типа MATCAD для тиражирования решений, что, к сожалению, в настоящее время имеет место.

Следует обратить внимание на подход к изложению курса «Обыкновенных дифференциальных уравнений», предложенный В.И. Арнольдом, основанный на понятиях фазового пространства и фазового потока.

Продemonстрируем на примере принцип построения задач, интегральные кривые которых относительно легко нарисовать. Возьмем параболу $y=x^2$ и повернем ее на угол 45° против часовой стрелки.

Формулы поворота системы координат имеют вид:

$$\begin{aligned}x &= \bar{x} \cdot \cos\theta - \bar{y} \cdot \sin\theta \\y &= \bar{x} \cdot \sin\theta + \bar{y} \cdot \cos\theta \\ \theta &= \frac{\pi}{4} \\ y &= x^2 \\ F(x, y) &= x^2 - 2xy + y^2 - \sqrt{2}x - \sqrt{2}y = 0.\end{aligned}$$

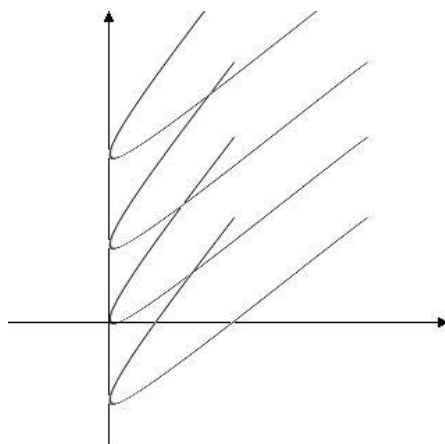
Кривая второго порядка проходит через начало координат, и она симметрична относительно биссектрисы 1 и 3-го координатного угла. Вычисляя инварианты квадратичной формы, получаем, что это парабола. Построим ОДУ, имеющее это решение.

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{\frac{\partial F}{\partial x}}{\frac{\partial F}{\partial y}} = -\frac{2x-2y-\sqrt{2}}{-2x+2y-\sqrt{2}}.$$

Сделав замену $y-x=z$, приведем уравнение к однородному и, интегрируя, получаем как и прежде

$$x^2 - 2xy + y^2 - \sqrt{2}x - \sqrt{2}y + 2C + 0,5 = 0.$$

$A=1$ $B=-1$ $C=1$ $AC-B^2=0$, следовательно, множество точек – парабола.



Для решения некоторых типов обыкновенных дифференциальных уравнений имеет смысл перейти к полярной системе координат. Рассмотрим однородное обыкновенное дифференциальное уравнение

$$y' = f\left(\frac{y}{x}\right) \quad x = \rho \cdot \cos \varphi \quad y = \rho \cdot \sin \varphi \quad \sin \varphi \cdot d\rho + \rho \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi =$$

$$= f(\operatorname{tg} \varphi) \cdot (\cos \varphi \cdot d\rho - \rho \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi) \quad \frac{d\rho}{\rho} = \frac{f(\operatorname{tg} \varphi) \cdot \sin \varphi + \cos \varphi}{f(\operatorname{tg} \varphi) \cdot \cos \varphi + \sin \varphi} \cdot d\varphi$$

переменные разделены.

Заключение.

1. Недопустимо игнорировать современные результаты нейропсихологии и нейропедагогики применительно к преподаванию высшей математики.
2. Необходимо предоставить студентам возможность избирать метод обучения математике, соответствующий их врожденным и приобретенным склонностям, стимулируя развитие творческих способностей интеллекта.
3. В условиях Болонского процесса резко меняются программы обучения. В этой ситуации следует с особой осторожностью строить стратегии обучения в интересах нашей молодежи, в том числе учитывая психофизиологические особенности обучающихся.

Библиографический список

1. Айнс, Э.Л. Обыкновенные дифференциальные уравнения [Текст] / Э.Л. Айнс. – Харьков : ГОНТИ, 1939. – 718 с.
2. Арнольд, В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения [Текст] / В.И. Арнольд. – М. : Наука, 1975. – 240 с.
3. Арнольд, В.И. Жесткие и мягкие математические модели [Текст] / В.И. Арнольд. – М. : Физматлит, 2000.
4. Банах, С. Дифференциальное и интегральное исчисление [Текст] / С. Банах. – М. : ГИФМЛ, 1975. – 404 с.
5. Бибииков, Ю.Н. Курс обыкновенных дифференциальных уравнений [Текст] / Ю.Н. Бибииков. – М. : Высшая школа, 1991. – 303 с.
6. Богданов, Ю.С. Курс дифференциальных уравнений [Текст] / Ю.С. Богданов, С.А. Мазаник, Ю.Б. Сыроид. – Минск : Университет, 1996. – 287 с.
7. Бугров, Я.С. Высшая математика [Текст] / Я.С. Бугров, С.М. Никольский. – Ростов н/Д. : Феникс, 1998. – 512 с.
8. Горохов, В.Л. Компьютерные метафоры для интенциональных и эйдетических объектов в когнитивных системах [Текст] / В.Л. Горохов, И.А. Муравьев // Сборник докладов Междунар. конф. по мягким вычислениям SCM'2006. – Россия, 2006.
9. Еругин, Н.П. Книга для чтения по общему курсу обыкновенных дифференциальных уравнений [Текст] / Н.П. Еругин. – Минск : Наука и техника, 1979. – 744 с.
10. Ландау, Э. Введение в дифференциальное и интегральное исчисление [Текст] / Э. Ландау. – М. : ГИИЛ, 1934. – 458 с.
11. Матвеев, Н.М. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений [Текст] / Н.М. Матвеев. – М. : Высшая школа, 1967. – 564 с.
12. Непейвода, Н.Н. Об уровнях знаний и умений [Текст] / Н.Н. Непейвода // Логические исследования. – 1999. – Вып. 8.
13. Непейвода, Н.Н. Прикладная логика [Текст] / Н.Н. Непейвода. – 2-е изд. – Новосибирск : НГУПресс, 2000.
14. Пиаджио, Г. Интегрирование дифференциальных уравнений [Текст] / Г. Пиаджио. – М. : ГТИ, 1929. – 347 с.
15. Поликарпов, В.С. Философские проблемы искусственного интеллекта [Текст] / В.С. Поликарпов, В.М. Курейчик, Е.В. Поликарпова, В.В. Курейчик. – М. : Физматлит, 2008. – 266 с.
16. Светлаков, А.Н. О парадигмах синергетики и искусственного интеллекта [Текст] / А.Н. Светлаков, А.И. Васильев // Интеллектуальные системы (IEEE AIS'08), Интеллектуальные САПР (CAD-2008). Труды Междунар. науч.-техн. конф. – М. : Физматлит, 2008. – Т. 2. – С. 326–327.

17. Смирнов, В.И. Курс высшей математики [Текст] / В.И. Смирнов. – М. : ГТТИ, 1948. – 736 с.
18. Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления [Текст] / Г.М. Фихтенгольц. – М. : Наука, 1966. – 800 с.
19. Эрроусмит, Д. Обыкновенные дифференциальные уравнения [Текст] / Д. Эрроусмит, К. Плейс. – М. : Мир, 1982. – 243 с.

УДК 001.895:81

Писаренко В.И.

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ В ЛИНГВИСТИКЕ

По мнению философов (Н.Н. Моисеев, В.С. Степин, В.С. Швырев и др.), на современном этапе уже существуют основания говорить о единой общенаучной картине мира, предпосылками создания которой служат: переход науки к постнеклассической стадии, современные идеи глобального эволюционизма, концепции самоорганизации, позволяющие устранить традиционный разрыв как внутри естественных наук о живой и неживой природе, так и между гуманитарными и естественными науками. Развитие современной научной картины мира органично включено в процессы формирования нового типа планетарного мышления, основанного на толерантности и диалоге культур и связанного с поиском выхода из современных глобальных кризисов.

Как известно, в развитии научного познания наблюдаются несколько этапов, каждый из которых связан с определенной *научной парадигмой*. *Классическая парадигма* «естественным образом вытекала из механистической картины мира, методологическим стержнем которой была ньютоновская механика». С классической парадигмой органически связана *классическая стратегия познания*, для которой характерны исключение случайности, упрощенный подход к представлению о сложности в природе, представление существа изучаемых явлений, всего многообразия природы в простых и наглядных механистических образах, стремление направлять особое внимание на устойчивые, неизменные состояния объектов природы, на обратимые процессы в ней, приводящие к количественным изменениям. Последовавшая за ней *неклассическая парадигма и стратегия познания* отличаются отношением к роли случайного в природе. *Неклассическая парадигма* и стратегия познания позволили сформировать новое представление о случайном и способах описания вероятностных процессов, а также представление об объекте как о нерасчлняемой целостности отдельных его качеств.

Постнеклассическая парадигма науки предполагает изменение типа научной рациональности; учитывается соотнесенность получаемых знаний об объекте не только с особенностью средств и операций деятельности, но и с ее ценностно-целевыми структурами. При этом эксплицируется связь внутринаучных целей с вненаучными, социальными ценностями и целями. Понятие о сложности природных систем, цельности и неразрывности компонентов системы, условности выделения этих компонентов характерно для *постнеклассической стратегии познания*.

Идеи глобального эволюционизма, принципы эволюции и системности характеризуют взаимосвязь самоорганизующихся систем разной природы и разной степени сложности и раскрывают механизмы возникновения новых структур в процессе развития. «В современном научно-философском видении весь Мир представляется нам как бы бесконечным и безграничным развивающимся организмом, детерминированным системой определенных внутренних законов, проявляющихся в отношении всех своих составляющих, в том числе и человека, таким образом, что можно говорить о разумности этого организма, в основе которой лежит мгновенный энергоинформационный обмен между всеми его составляющими, в том числе и между людьми.

Универсальный эволюционизм создает основу для рассмотрения человека как объекта космической эволюции, закономерного и естественного этапа в развитии нашей Вселенной, ответственного за состояние мира, в который сам человек погружен. Современное научное знание, соотнося развитие самоорганизующихся объектов с проблематикой места человека, приобретает новый, гуманистический смысл. В научную картину мира входят представления об органической включенности человека в целостный космос и о соразмерности человека как результата космической эволюции породившему его миру. Возникающие на этой основе этические идеи ответственности человека перед природой делают картину мира аксиологически нагруженной, а также способной привести к изменению традиционных для техногенной цивилизации представлений о предназначении человека. Такую антропокосмическую картину мира как мировоззренческую систему обозначают термином «гуманизм».

Представления о человеке как о биосоциальном существе, ограниченном пространственно-временными рамками, меняются на идеи бесконечности человека. Человек, как и любой другой объект Мира, соответствует по своей структурной организации закону сохранения, т.е. имеет в своей структуре такие состояния материи, как вещество (обладающее массой), энергию и информацию, находящиеся во взаимно однозначном соответствии и обладающие способностью перехода из одного состояния в другое или третье. Энергоинформационные обмены позволяют человеку получать новые знания не только эмпирическим или рационально-логическим способом, но и путем непосредственного «считывания информации» с некоего информационного поля Вселенной, что способствует объединению трех методов познания: эмпирического, рационального и интуитивно-мистического.

В целом, *анализ общенаучной картины мира свидетельствует об изменении места человека в ней*. Человек в его научной интерпретации как отстраненно познающее и преобразующее объекты мира конечное социальное существо превращается в «космобиопсихосоциальное» образование (Ю.Г. Волков), масс-энерго-информационное единство, соразмерное миру и эволюционирующее по общим с ним законам, не поработавшее природу, а вступающее в диалог с ней (И. Пригожин), обеспечивающий коэволюцию человека и природы (Н.Н. Моисеев).

Моран, говоря о необходимости реформирования образования, отмечает: «Познание мира как мира целостного становится одновременно интеллектуальной и жизненной необходимостью. Познание изолированных информационных сведений недостаточно. Надо располагать эти сведения в контексте, в котором они только и обретают смысл». Рациональность и даже необходимость интеграции различных систем образования очевидна. Процесс такой интеграции представляет собой задачу всей цивилизации.

Значительное количество результатов исследований в разных областях знания соотносится исследователями с синергетикой. Проблематика, содержание, методы исследований и результаты, относимые к синергетике, характеризуются неоднозначными оценками и неопределенностью. Вместе с тем, синергетика как научное направление исследований является востребованной обществом. Органическая потребность современной науки в обобщающих междисциплинарных исследованиях продолжает стимулировать дальнейшее развитие синергетики и выход ее на новый уровень интеграционных взаимодействий. Синергетика действует сегодня как категория научного знания. Контекст синергетики дает возможность плодотворно взаимодействовать ученым разных специализаций на языке системного осмысления и поиска новых решений. Обоснованием целесообразности синергетических исследований в разнообразных областях человеческой деятельности является установленный факт, что кооперация многих подсистем какой-либо системы подчиняется одним и тем же принципам независимо от природы подсистем.

Согласно Хакену, специфические особенности синергетики следующие:

- исследуемые системы состоят из нескольких или многих одинаковых или разнородных частей, которые находятся во взаимодействии друг с другом;
- эти системы – нелинейные;
- речь идет об открытых системах, далеких от равновесия;
- системы подвержены внутренним и внешним колебаниям;
- системы могут быть нестабильными;
- происходят качественные изменения;
- в системах обнаруживаются эмергентные новые качества;
- возникают новые структуры;
- структуры могут быть упорядоченными или хаотическими.

Синергетика представляет собой научное направление, изучающее процессы образования и массовых (коллективных) взаимодействий объектов, элементов и подсистем:

- 1) происходящие в открытых системах (физических, биологических, социальных, также формальных и вычислительных) в неравновесных условиях;
- 2) сопровождающиеся интенсивным обменом веществом, энергией, информацией и другими коммуникационными атрибутами (включая высшие психические проявления) с окружающей средой, с возможностью поглощения энергии, поступления исходных веществ и удаления продуктов, а также сохранения, расходования или репродуцирования носителей информационных структур;
- 3) характеризующиеся самопроизвольностью (отсутствием жесткой детерминации извне, индивидуальной независимостью, спонтанностью) поведения объектов (подсистем), сочетающейся с эффектом взаимосодействия;
- 4) имеющие результатом упорядочение, самоорганизацию, уменьшение энтропии, также эволюцию систем (удаление и от хаоса и от статичности).

Синергетика как новое научное направление, изучающее процессы самоорганизации структур различной природы, ищет универсальные закономерности возникновения порядка из хаоса, делает попытку создать описание причин и механизмов устойчивого существования возникающих структур и их распада. Самоорганизация происходит без какого-либо воздействия извне. Одно состояние системы утрачивает устойчивость, и вместо него появляется (самоорганизуется) новое устойчивое состояние.

Рассмотрим язык как систему в контексте синергетической парадигмы. По определению язык представляет собой:

- определенный класс знаковых систем;
- некоторую реально существующую знаковую систему, используемую в некотором социуме, в некоторое время и в некотором пространстве;
- естественно возникшую (на определенной стадии развития человеческого общества) и закономерно развивающуюся семиотическую (знаковую) систему, обладающую свойством социальной предназначенности;
- основную общественно значимую форму отражения окружающей человека действительности и самого себя, т.е. форму хранения знаний о действительности, а также средство получения нового знания о действительности.

Все определения сходятся в определении языка как знаковой системы. Рассмотрим язык как синергетическую систему.

Основной принцип синергетики – *целое больше суммы частей*. Он прослеживается с древних учений даоизма и философии Лао-Цзы. Целое не равно сумме частей. Оно качественно иное по сравнению с частями, которые в него интегрированы. Следовательно, формирующееся целое видоизменяет части. Приведем примеры.

Отдельные звуки [e], [i], [t], [b], [l], представляющие фонетический строй английского языка, в комбинации [t], [e], [i], [b], [l] образуют слово ['teɪbl], обозначающее уже конкретный предмет или класс предметов, т.е. отражают реальность. Целое – слово **table**, несомненно, больше составляющих его частей – звуков [e], [i], [t], [b], [l]. Так как оно несет на себе смысловую нагрузку.

Набор звуков французского языка [r], [t], [z], [ɛ:] превращается в слово [t r ɛ:z], имеющее значение «тринадцать» и несущее смысловую нагрузку.

Звуки русского языка [a],[p],[ш] при определенном расположении становятся словом «шар».

Наблюдение за порядком образования различных слов из одних и тех же звуков подтверждает еще одно синергетическое положение – *нелинейность синергетических систем*. Из одних и тех же звуков могут быть образованы разные слова.

Например, набор звуков английского языка [k], [ə], [m], [p], [j], [u:], [t] может быть словом [kəm'pju:tə], а также словом [kəmp] и словом [pju:] и т.д.

Если обозначить звуки номерами, получится последовательность

1→2→3→4→5→6→7→2 для первого слова

1→2→3→4 для второго слова

4→5→6 для третьего слова.

Этот синергетический принцип, только на уровне букв, лежит в основе известной игры «в слова», в правилах которой – составление из одного набора букв как можно большего количества слов, например, слово «структура» дает нам другие слова: рука, тур, сук, ар, рак и т.д.

Пример из французского языка: слово «tableau» дает нам слова: bleu, beau, le, la, tu, еau и т.д.

Приведем примеры на более высоком уровне – на уровне предложений. Например, набор отдельных английских слов

question, to be, or, not, that, is, the

превращается во фразу

That is the question.

или во фразу

Is that the question?

или

Is that the question or not?

каждая из которых имеет конкретное, отличное от других значение.

Более того, составленная из этих слов фраза

“To be, or not to be, that is the question...”

принадлежит великому Шекспиру (William Shakespeare “Hamlet”, Act Three, Scene One). К смысловой нагрузке фразы, означающей гораздо больше, чем составляющие ее элементы, прибавляется «культурологическая» нагрузка.

Пример из французского языка. Набор слов

Charles, plate, la, conversation, trottoir, de, était, comme, un

превращается в бессмертную фразу великого Флобера из романа «Госпожа Бовари»:

La conversation de Charles était plate comme un trottoir.

А набор слов

je, ne, savais, pas, encore, lire, mais, étais, assez, snob, pour, exiger, de, avoir, mes, livres

оказывается фразой великого французского писателя

Je ne savais pas encore lire mais j’ étais assez snob pour exiger d’ avoir mes livres.

(Jean–Paul Sartre «Les mots»).

Другие интересные примеры можно привести с фразеологизмами, в которых определенный набор слов не просто выстраивается в предложение, но в семантически связанные сочетания слов и предложений, которые, в отличие от сходных с ними по форме синтаксических структур, не производятся в соответствии с общими закономерностями выбора и комбинации слов при организации высказывания, а воспроизводятся в речи в фиксированном соотношении семантической структуры и определенного лексико-грамматического состава.

Еще один принцип синергетики – *исследуемые системы состоят из нескольких или многих одинаковых или разнородных частей, которые находятся во взаимодействии друг с другом*. Язык состоит из языковых подсистем – целого, составленного из частей. Современное представление о системе языка включает ряд взаимосвязанных понятий – уровни языка, единицы языка, парадигматические и синтагматические отношения, знаковая функция языка, форма и функция, структура и субстанция, внешние и внутренние связи в языке, синхрония и диахрония и т.д. Например, аспекты языка – фонетика, грамматика, лексика и т.д. – это системы, находящиеся в тесной взаимосвязи, состоящие из конкретных разделов. Это – триада, организующая язык в целом – в его звуковой, лексико-фразеологической и собственно формальной системах. Кстати, триада представляет собой, по выражению Р.Г. Баранцева, «спасительную методологическую опору с достаточно крепкими корнями, гибкую, но прочную» «в захлестывающем море «сумасшедших идей». Это еще один пример плюралистической, полимодальной и многомерной установки, которая служит отличительным признаком интегрального подхода, охватывающего все сектора и все уровни. В закрытой, замкнутой, жесткой методологии царствует формула одномерного мышления «либо-либо». Вся философия долгое время препод-

носили на антитезах: необходимость-случайность, субъект-объект, материализм-идеализм и т.п. Для снятия противоречий и перехода к синтезу всегда требуется сторонняя позиция, определяющая меру жизнеспособного компромисса. «Чтобы подняться по диалектической спирали развития, сначала нужно выйти из антитезы в боковое измерение. Основой для подъема служит плоскость, задаваемая тройкой опор одного уровня. Такая триада обладает системными свойствами и оказывается простейшей структурной ячейкой открытой методологии».

Какие же силы объединили и сохранили эти устойчивые комплексы из трех равноправных объектов? Известно, что мыслительная деятельность человека осуществляется посредством понятий, образов и символов. Если предположить, что эти компоненты равноправны, то системность мышления обеспечивается динамическим равновесием аналитического (рацио), качественного (эмоцио) и субстанциального (интуицио) аспектов.

Системная триада является весьма плодотворной при исследовании целостных объектов. Она помогает сознательно контролировать полноту описания и позволяет дополнять отдельные монады и диады до целостных комплексов. Например, платоновские Добро (нравственность, «мы»), Истина (в смысле пропозициональной истины, объективных истин или «оно») и Красота (эстетическое измерение как оно воспринимается каждым «я»). Неоплатонизм предлагает *три* основных уровня реальности, которые также пересекаются с тремя сферами. Сторонники неоплатонизма называют эти уровни ипостасями – Единое, Ум, Душа. Великий мусульманский философ Авиценна (Ибн Сина) говорил о *триаде* – разум, душа и тело. *Три* сферы проявляются на духовных уровнях развития. Приведем лишь один пример – *Три Сокровища Буддизма*, а именно: *Будду, Дхарму и Сангху*. Будда – это просветленный ум в любом и каждом чувствующем существе, «Я», которое есть «не-я», изначальное осознание, которое сияет из каждого внутреннего мира. Сангха – это сообщество духовных практиков, а Дхарма – это духовная истина, которая постигается.

Кроме того, эти три сферы представляют собой знаменитые *три мира*, которые различает Карл Поппер в работе «Эволюционная эпистемология»:

- 1) объективный (оно), «мир всех тел, сил, силовых полей, а также организмов, наших собственных тел и их частей, наших мозгов и всех физических, химических и биологических процессов, протекающих в живых телах»;
- 2) субъективный (я), «мир нашего разума, или духа, или сознания: мир осознанных переживаний наших мыслей, наших чувств приподнятости или подавленности, наших целей, наших планов действия»;
- 3) культурный (мы), мир культуры, «который содержит все книги, все библиотеки, все теории, включая, конечно, ложные теории и даже противоречивые теории, центральная роль в нем отводится понятиям истинности и ложности».

Немецкий социолог и философ Юрген Хабермас предлагает *три критерия* достоверности, которым три этих великих сферы, о которых идет речь, в точности соответствуют: *объективная истина, субъективная честность и межличностная справедливость*. Эти же сферы прослеживаются в *трилогии* Канта – «Критике чистого разума (*объективная наука*), «Критике практического разума» (*нравственность*) и «Критике суждения» (*эстетическое суждение и искусство*).

Возвращаясь к языку как синергетической системе – триаде звуковой, лексико-фразеологической и собственно формальной систем, отметим, что фонетика изучает общие условия звукообразования, исходя из возможностей произносительного аппарата человека, анализирует акустические особенности звуковых единиц, их спектральные характеристики, закономерности сочетания звуков и т.д. Лексика занимается словарным составом языка. Грамматика представляет строй языка, то есть систему морфологических категорий и форм, синтаксических категорий и конструкций, способов словопроизводства. Грамматикой называется вся незвуковая и нелексическая организация языка, представленная в его грамматических категориях, грамматических единицах и грамматических формах. Грамматика представляет собой строевую основу языка, без которой не могут быть созданы слова (со всеми их формами) и их сочленения, предложения (шире – высказывания) и их сочленения.

Рассмотрение языка как системы, функционирующей на основе синергетических принципов, позволяет рассматривать язык как феномен мирового эволюционного процесса, динамика которого подчиняется общим законам развития природы и общества.

Библиографический список

1. Суворов, В.В. Синергетическая концепция самоорганизации [Текст] / В.В. Суворов // Синергетика. Труды семинара. Т. 3. Материалы круглого стола «Самоорганизация и синергетика: идеи, подходы и перспективы». – М. : Изд-во МГУ. – 2000. – С. 325–337.
2. Громкова, М.Т. Психология и педагогика профессиональной деятельности [Текст] / М.Т. Громкова. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 415 с.
3. Колесникова, И.А. Основы андрагогики [Текст] / И.А. Колесникова, А.Е. Марон, Е.П. Тонконогая ; под ред. И.А. Колесниковой. – М. : Академия, 2003. – 240 с.
4. Леонтьева, В. Компьютеризация и «креативная педагогика» [Текст] / В. Леонтьева // Высшее образование в России. – 2001. – № 3. – С. 138–142.
5. Вербицкая, Л.А. Некоторые проблемы современного высшего образования в России [Текст] / Л.А. Вербицкая, В.Т. Лисовский // Высшее образование в России. – 2002. – С. 8–11.

УДК 378.147:004

Никуличев Н.Н.

ЭЛЕКТРОННОЕ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МУЛЬТИМЕДИА ТЕХНОЛОГИИ»

В настоящее время российское образование переживает очередные изменения. Происходящая смена парадигмы обучения требует пересмотра ряда структур образовательного процесса. Только в этом случае нововведения, диктуемые научно-техническим прогрессом, дадут прирост эффективности обучения и повысят качество образования.

Построение систем открытого образования не может рассматриваться в отрыве от существующих вычислительных средств и средств телекоммуникаций. Соответственно, процесс обучения в таких системах должен быть оптимизирован под существующие средства.

Основой современных подходов представления электронных документов является организация учебных материалов в соответствии со стандартами оформления электронных образовательных ресурсов – спецификациями международного консорциума IMS и Универсальной модели описаний образовательных ресурсов, которая в соответствии с этими спецификациями имеет двухуровневый вид (рис. 1).



Рис. 1. Универсальная модель описания образовательных ресурсов

Манифест – файл в XML-формате, имеющий стандартизированную структуру, содержит всю необходимую информацию об образовательном ресурсе. В соответствии со спецификациями IMS манифест всегда имеет одно имя – `imsmanifest.xml` – и располагается в корневом каталоге образовательного пакета. В манифесте хранятся ключевые данные о самом учебном объекте.

Манифест написан на стандартизированном языке, легко понимаемом компьютером. Использование манифеста является основой для создания развитых автоматических сервисов, ориентированных на обработку электронных образовательных ресурсов, в частности, в рамках образовательных порталов. В качестве языков метаописания учебных объектов используются диалекты расширяемого языка разметки (Extensible Markup Language, XML).

На базе стандарта оформления электронных образовательных ресурсов IMS и технологий XML, DOMDocument, JavaScript и HTML разработано электронное учебное пособие по дисциплине «Мультимедиа технологий».

Функциональная схема пособия приведена на рисунке 2. Схема показывает потоки информации между блоками: файлы с контентом учебного пособия, манифест, JavaScript, HTML-файлы с вызовом функций JavaScript.

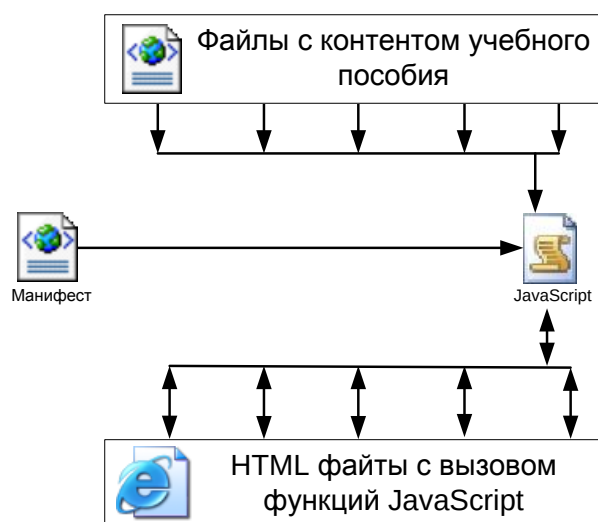


Рис. 2. Функциональная схема пособия

Файлы с контентом учебного пособия – это XML файлы, содержащие учебный материал и другую основную информацию (текст может быть форматированным, в таком случае используется тег CDATA).

Манифест – XML файл, в котором описана логическая и физическая структура пособия.

JavaScript – файл с расширением *js*, в котором содержатся функции для работы с манифестом и файлами с контентом, также функции генерации меню и прочих эффектов.

HTML файлы с вызовом функций JavaScript – это HTML файлы, которые просматривает пользователь, в каждом файле есть вызов функции с аргументом идентификатором страницы. По идентификатору JavaScript сценарий в манифесте находит URL файла с контентом, загружает и интерпретирует его в HTML.

Электронное учебное пособие имеет следующие основные разделы:

- лекции;
- программа дисциплины;
- лабораторный практикум;
- темы курсовых работ;
- тесты.

Раздел «лекции» включает в себя десять тем по дисциплине «Мультимедиа технологии», каждая тема делится на пункты и подпункты.

Раздел «Программа дисциплины» содержит рабочую программу дисциплины «Мультимедиа технологии».

Раздел «Лабораторный практикум» содержит методические указания к лабораторному практикуму по дисциплине «Мультимедиа технологии» и варианты заданий для выполнения.

Раздел «Темы курсовых работ» содержит перечень тем курсовых работ по дисциплине «Мультимедиа технологии».

В разделе «тесты» приведены тесты по дисциплине «Мультимедиа технологии» для самопроверки.

Физически электронное учебное пособие представляет набор файлов и папок (рис. 3). Пособие расположено в корневом каталоге «Multimedia», он в свою очередь содержит подкаталоги: «content», «images», «outward», «scripts» и файлы: «banner.jpg», «IMSManifest.xml», «index.htm», «kr_1.htm – kr_62.htm».

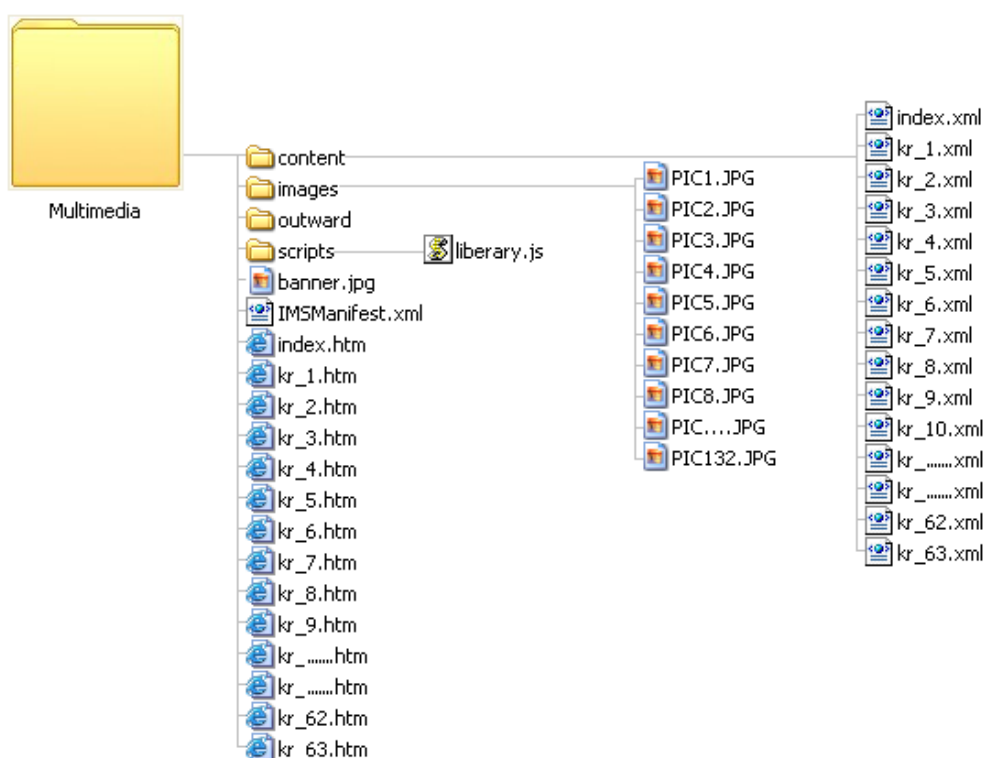


Рис. 3. Физическая структура электронного учебного пособия

Каталог «content» содержит XML файлы с содержимым пособия: «index.xml», «kr_1.xml – kr_63.xml».

Каталог «images» содержит все графические файлы электронного пособия: «PIC1.JPG – PIC132.JPG».

Каталог «scripts» содержит файлы со сценариями JavaScript: «library.js».

Структура манифеста, предлагаемая в рекомендациях IMS и наиболее широко признанная, приведена в таблице.

Такая структура манифеста описывается и в универсальной модели представления информации в образовательных системах, разработанной Российским государственным институтом открытого образования и Иркутским государственным университетом.

Блоки информации, включенные в манифест

Название блока	Описание
Метаданные (метаописания)	Автор ресурса Название Раздел знаний Учреждение Авторские права Аннотация ресурса Ключевые слова и т.д.
Организации	Блок содержит описание логической структуры и способов использования ресурса
Ресурсы	Этот блок содержит информацию о физической структуре пакета, описание каталогов и файлов, включенных в пакет
Подобъекты	Если учебный объект имеет модульную структуру (включает учебные объекты меньшего уровня), то данный блок содержит описание используемых подобъектов

На рисунке 4 приведена упрощенная схема данных файла IMSmanifest.xml.

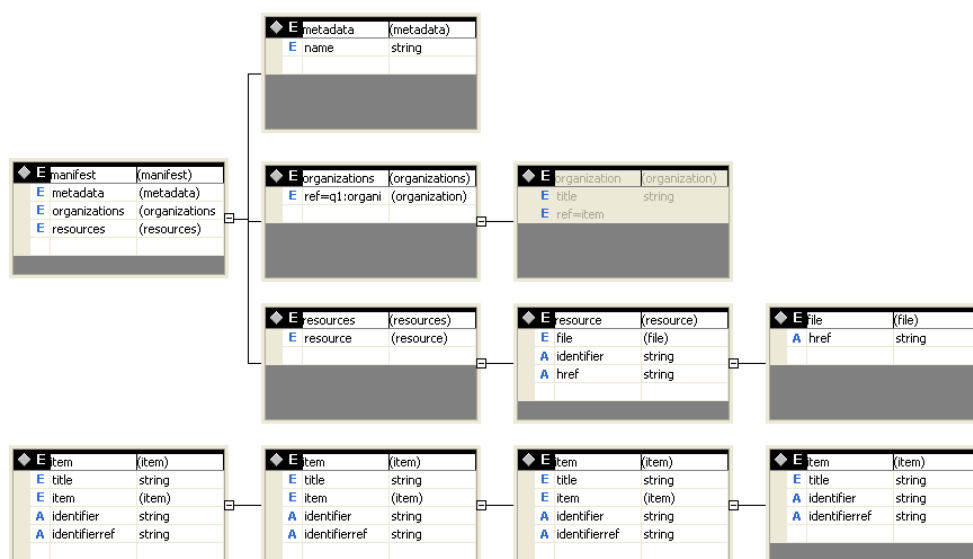


Рис. 4. Схема данных файла IMSmanifest.xml

Корневой элемент «manifest» содержит три дочерних элемента: «metadata» – этот элемент описывает учебное пособие, «organizations» – отражает логическую структуру пособия, «resources» – описывает физическую структуру пособия.

Одним из основных алгоритмов, используемых для загрузки пособия, является алгоритм загрузки контента в HTML документ. Блок-схема алгоритма загрузки контента в HTML документ приведена на рисунке 5.

Алгоритм работает следующим образом:

- 1) создать объект MSXML DOM Document;
- 2) *загрузить в созданный объект файл с манифестом IMSmanifest.xml;*
- 3) создать объект MSXML DOM XML Node List – список узлов документа;
- 4) заполнить список узлами с именем «item»;
- 5) в цикле проверить, совпадает ли содержимое атрибута «identifier» с идентификатором страницы, если да выход из цикла, если в списке не было найдено элемента с атрибутом, содержащим идентификатор страницы, тогда записать в HTML документ сообщение об ошибке манифеста;
- 6) получить значение атрибута «identifierref» найденного элемента списка и записать значение в переменную IDREF;
- 7) создать объект MSXML DOM Document;
- 8) получить по значению IDREF URL файла с контентом;
- 9) загрузить в созданный объект файл с контентом по его URL;
- 10) если файл с контентом содержит ошибки, тогда записать в HTML документ сообщение об ошибке и завершить;
- 11) записать в HTML документ теги начала таблицы, в которую будет выводиться содержимое файла с контентом;
- 12) в цикле для каждого узла документа с контентом проверяется тип узла и его имя, если тип узла – CDATA, тогда записать содержимое узла в HTML документ, если имя узла – «title», тогда поместить содержимое в контейнеры «font» и «center» и добавить горизонтальную линию, если имя узла «indention», тогда содержимое узла поместить в контейнер «p»;
- 13) записать в HTML документ теги конца таблицы, в которую будет выводиться содержимое файла с контентом.

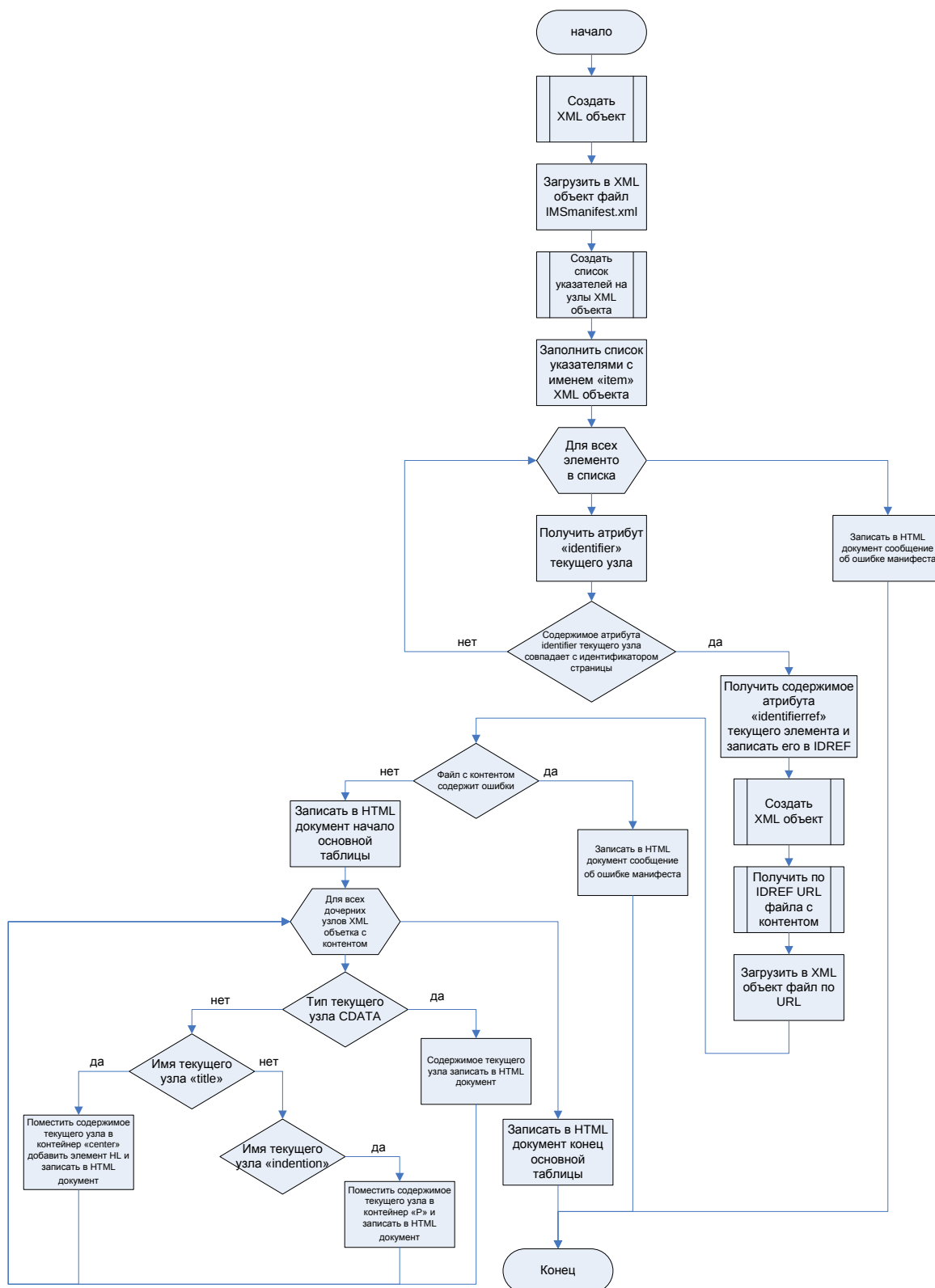


Рис. 5. Блок-схема алгоритма загрузки контента на страницу

Основные разделы электронного пособия приведены на рисунках 6–8.

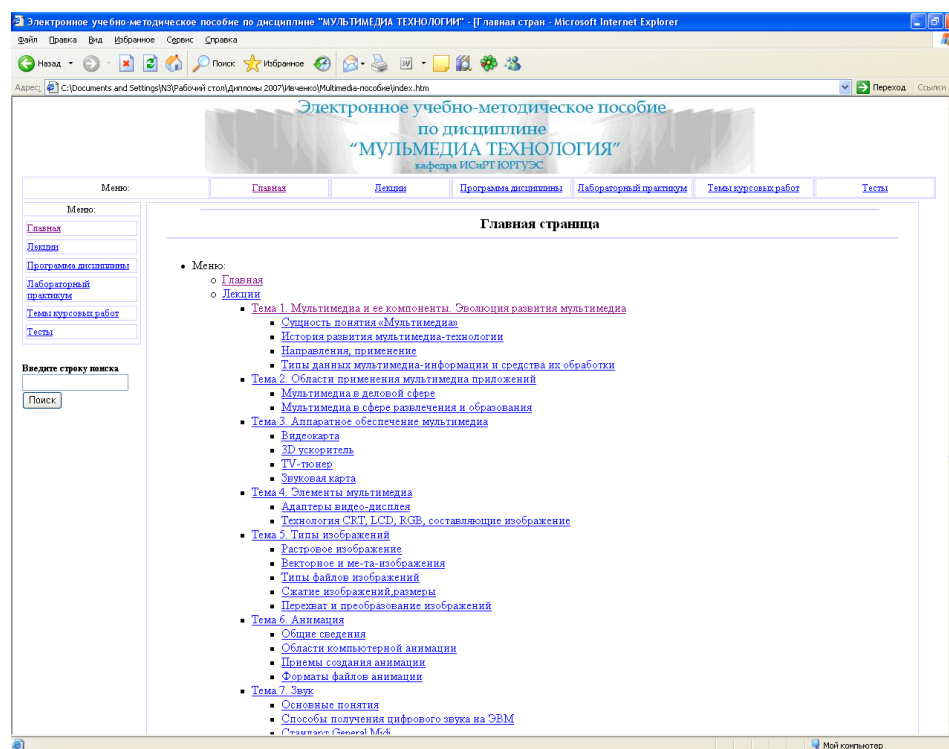


Рис. 6. Стартовая страница пособия

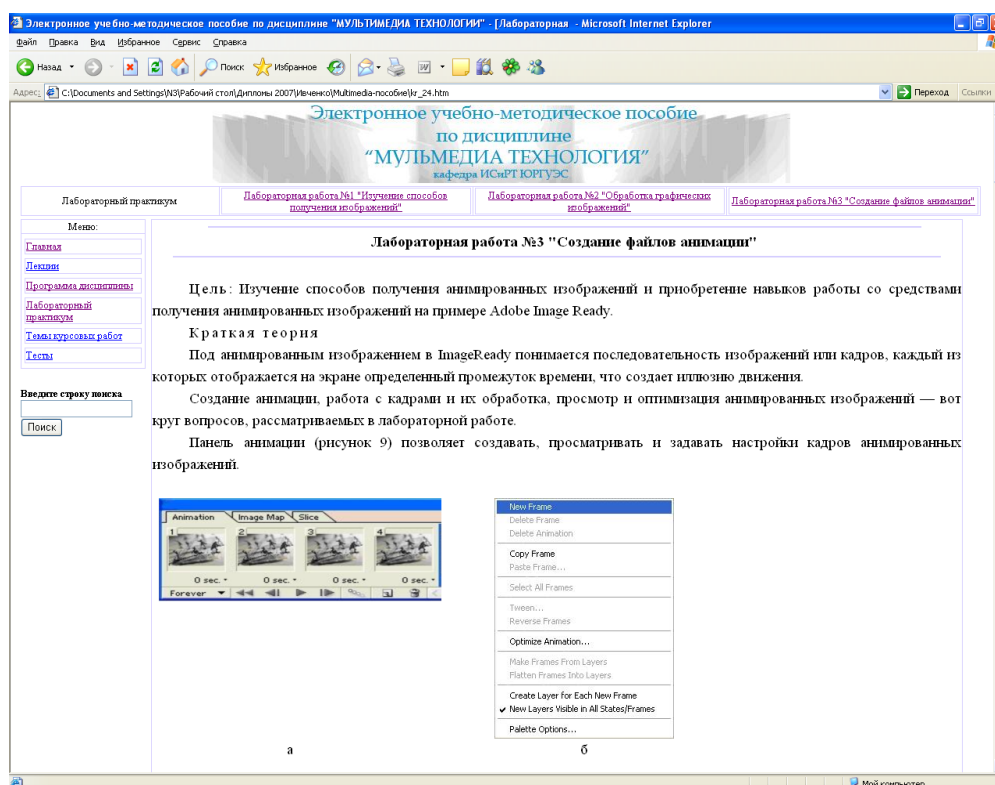


Рис. 7. Раздел «Лабораторные работы»

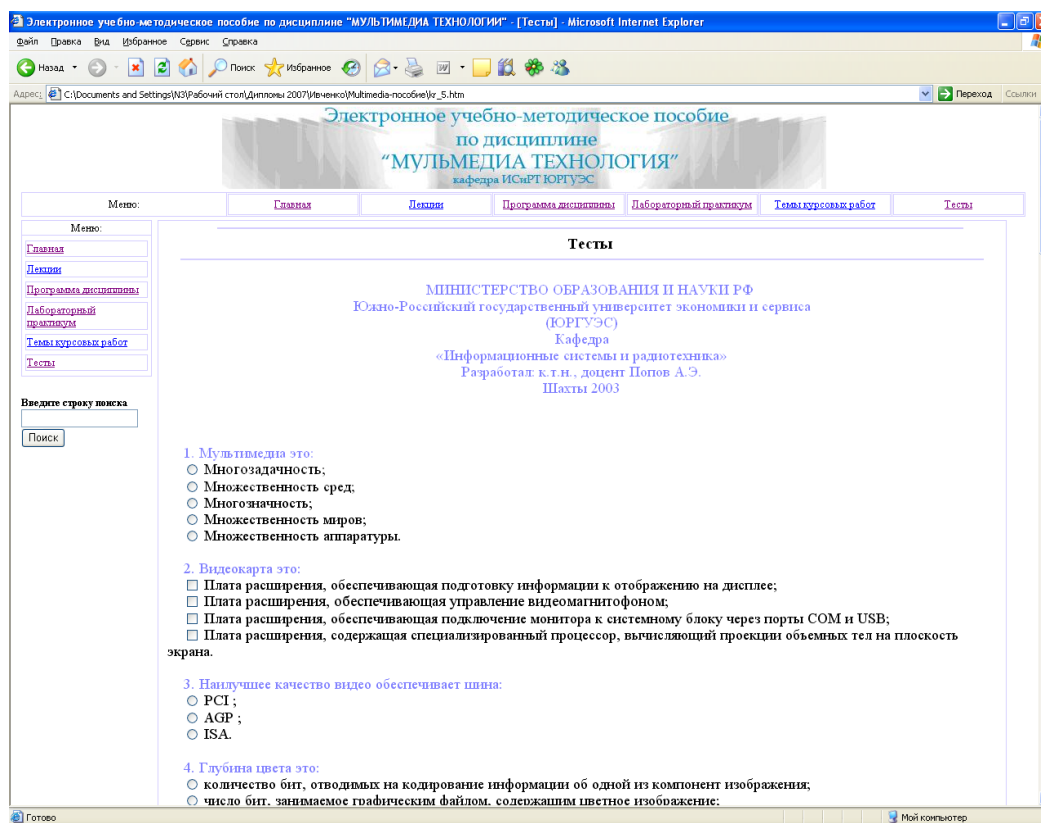


Рис. 8. Раздел пособия «Тесты»

Разработанное электронное пособие обладает современным дизайном и соответствует эргономическим и эстетическим требованиям к компьютерным средствам обучения. Достаточно глубоко освещает основные разделы дисциплины, включает в себя современные (в том числе мультимедийные) способы представления информации, содержит интерактивные средства контроля знаний (тесты) для самопроверки полученных знаний, а также виртуальные лабораторные работы.

Библиографический список

1. Норенков, И.П. Концепция модульного учебника [Текст] / И.П. Норенков // Информационные технологии. – 1996. – № 2.
2. Титарев, Л.Г. Стандарт ISO «Тематические схемы»: применение к сетевому обучению [Текст] / Л.Г. Титарев, Д.Л. Титарев, О.А. Ильченко, А.Н. Феданов // Технологические стандарты в образовании : материалы Всерос. конф., 23-24 апреля 2003 г., Москва. – М. : Из-во МЭСИ, 2003. – С. 329–392.
3. Норенков, И.П. Технологии разделяемых единиц контента для создания и сопровождения информационно-образовательных сред [Текст] / И.П. Норенков // Информационные технологии. – 2003. – № 8.

4. Головач, В. Дизайн пользовательского интерфейса [Текст] / В. Головач. – М., 2001. – 160 с.
5. Дэн Баррет, Д. Ливингстон Java Script. Web-профессионалам [Текст]. Учебный курс / Д.Дэн Баррет. – СПб. : Питер, 2002. – 243 с.
6. Айзекс, С. Dynamic HTML [Текст] : энциклопедия / С. Айзекс. – СПб. : BHV, 2001. – 496 с.

УДК 378:004

Ершова Е.А.

ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАТИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Для управления такой сложной системой как вуз, пронизанной многочисленными информационными потоками как внутри себя, так и связанной ими с многочисленными объектами внешней среды, необходимо использование современных информационных технологий. Важность задач внедрения информационно-коммуникационных систем в высшее образование и комплексной информатизации обозначено в программах министерства образования и науки.

Процесс информатизации процессов управления в образовании регламентируется следующими нормативно-правовыми актами:

- концепция создания интегрированной автоматизированной информационной системы (ИАИС) Минобрнауки России;
- концепция модернизации российского образования на период до 2010 г.;
- концепция использования информационных технологий в деятельности федеральных органов государственной власти до 2010 г.;
- национальная доктрина образования в Российской Федерации;
- Федеральный закон от 20 февраля 1995 г. № 24-ФЗ «Об информации, информатизации и защите информации».

В Концепции создания ИАИС отмечено, что «в настоящий момент в большинстве российских высших учебных заведений информатизация административной, учебной и научной деятельности либо недостаточна, либо полностью отсутствует».

Концепция модернизации российского образования ставит одним из необходимых условий повышения качества образования: «информатизация образования и оптимизация методов обучения, активное использование технологий открытого образования». Однако информатизация высшей школы не заключается только во внедрении информационных технологий в процесс обучения.

Важной задачей остается автоматизация процессов управления вузом. Здесь комплекс задач весьма широк, начиная от задач любого хозяйствующего субъекта (предприятия, организации), такие как финансовое управление, бухгалтерский учет, маркетинг и т.д., а также дополнительные функции, связанные со специфичными для вуза социальными задачами, а именно: научные исследования, фундаментальный цикл подготовки.

Даже, рассматривая только задачи вуза как коммерческой организации, сложность автоматизации усложняется «...многопрофильным характером деятельности, обилием форм и методов учебной работы, пространственной распределенностью инфраструктуры (филиалы, представительства), многообразием источников финансирования, наличием развитой структуры вспомогательных подразделений и служб (строительная, производственная, хозяйственная деятельность), необходимостью адаптации к меняющемуся рынку образовательных услуг, потребностью анализа рынка труда, отсутствием общепринятой формализации деловых процессов, необходимостью электронного взаимодействия с вышестоящими организациями...» [3].

Кроме перечисленных автором особенностей процесса информатизации высшей школы и системы высшего образования в целом, следует отметить тенденции глобализации в этой среде. «Речь идет ... о формировании общемировых образовательных сетей и мировых потоков образовательных сетей и мировых потоков студентов, устремляющихся к образовательным центрам...» [4].

Эти тенденции требуют расширения информационного пространства за пределы государственных границ. «Можно и нужно говорить о глобальной системе знаний, выходящих за пределы локальных и узконациональных контекстов» [5]. Информационно-коммуникационные технологии могут обеспечить функционирование образовательной системы «без границ».

Стоит учитывать также развитие информационного общества, а значит, необходимость получения знаний в области информационно-коммуникационных технологий в процессе обучения в вузе.

Стоит отметить, что в Концепции создания интегрированной автоматизированной информационной системы Минобразования России был определен ряд задач общегосударственного управления, которые позволят решить внедрение предлагаемой системы:

- перейти к решению стратегической задачи современного этапа развития мирового сообщества и создание условий перехода к открытому образовательному пространству;
- обеспечить требуемое качество управления отраслью;
- повысить оперативность и эффективность взаимодействия Министерства и учреждений образования;
- повысить управляемость качеством обучения;
- повысить экономическую эффективность сферы образования;
- создать систему образовательной статистики сферы образования;

- осуществлять прогнозные оценки развития отрасли;
- создать систему стратегического и оперативного планирования, систему прогнозирования развития отрасли [1].

Данный перечень был сформулирован для министерства образования в целом и его специфических задач.

Подводя итог выявленным особенностям информатизации системы высшего образования, необходимо сформулировать перечень задач (проблем), которые необходимо рассматривать при разработке информационной системы управления вузом (рис. 1):

- внедрение российской высшей школы в мировую образовательную систему и занятие ниши в области экспорта образования. Конечно, нет оснований утверждать, что достаточно только информатизации для обеспечения этих процессов, однако, как отмечает директор Института ЮНЕСКО по информационным технологиям в образовании В. Кинелев, «новые технологии создают действительно международную и независимую территорию образовательной деятельности, ... открывают перед подрастающими поколениями науку..., связанную с возможностью свободного распространения знаний, минуя государственные границы» [5];
- обеспечение массовизации высшего образования. Высшее образование «стало минимумом, необходимым для профессиональной и социальной карьеры, допуска в значимые общественные коммуникации» [4]. Более того, по словам ректора Современной гуманитарной академии М. Капенко практически 89 % людей в России способны усвоить программу высшего образования. Внедрение ИКТ позволит сделать образование более доступным за счет:
 - 1) внедрения новых форм образования таких, как виртуальные университеты, дистанционные курсы и т.д.;
 - 2) привлечения через телекоммуникации лучший профессорско-преподавательский состав даже в отдаленных пунктах населения;
 - 3) перехода к «новым педагогическим технологиям: безгрупповому, то есть индивидуально-ориентированному, безсессионному – по личному графику и безбумажному обучению» [5].

Воспитание информационной культуры выпускника, необходимой в условиях развития информационного общества. При этом выделяют следующие значимые аспекты «проявления информационной культуры»:

- 1) конкретные навыки личности по использованию технических устройств (от телефона до персонального компьютера и компьютерных сетей);
- 2) способность личности использовать в своей деятельности компьютерную информационную технологию, базовой составляющей которой являются многочисленные программные продукты;

- 3) умение личности извлекать информацию из различных источников, включая электронные коммуникации, представлять ее в понятном виде, уметь структурировать, оценивать и эффективно использовать;
 - 4) владение специалистом основами аналитической переработки информации;
 - 5) знание специалистом особенностей информационных потоков в своей области деятельности» [6];
- повысить качество принимаемых решений в управлении вузом, а также в управлении качеством, а как следствие, обеспечить конкурентоспособность вузов России;
 - обеспечить открытость и доступность информации о вузе для внешних заинтересованных лиц, что позволит развиваться рынку образовательных услуг за счет сглаживания «информационной асимметрии», о негативных последствиях которой было сказано выше.

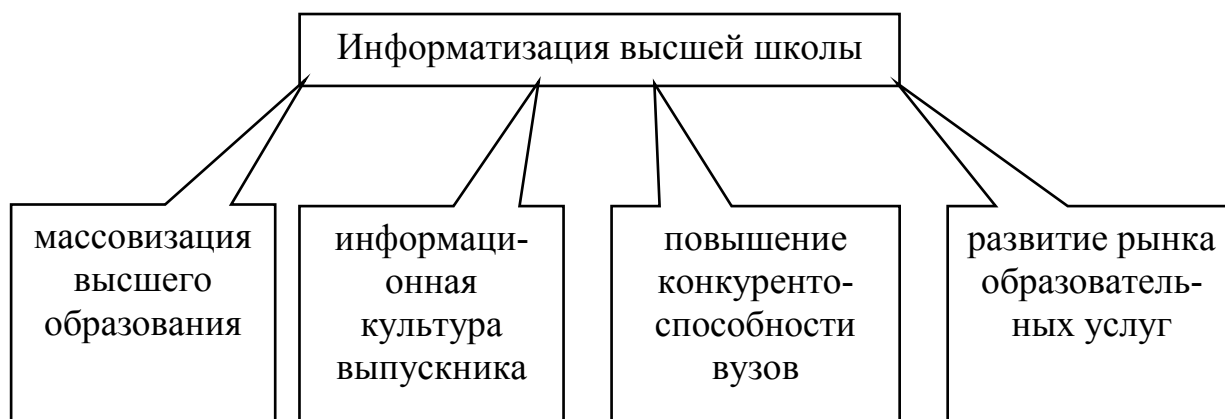


Рис. 1. Задачи информатизации образования

Сложность оценки экономического эффекта от автоматизации и информатизации управления вузом объясняется тем, что материально измеримая выгода не всегда наблюдается.

За счет сокращения времени на выполнения операций по обработке информации логично было бы предположить экономию затрат на оплату труда. Однако сокращения числа рабочих мест нет. «Приводя к повышению эффективности, автоматизация далеко не всегда сопровождается уменьшением численности людей в системе управления. Чаще всего происходит перераспределение личного состава внутри системы: сокращается численность должностных лиц, занятых непосредственным управлением, но увеличивается инженерный и технический персонал, обслуживающий технические средства. Основной эффект автоматизации достигается за счет своевременности и оптимальности принимаемых решений» [7].

Для оценки функционирования системы необходимо выделить значимые свойства этой системы, на основании которых сформулировать показатели качества. Выделяют следующие существенные свойства систем:

- общесистемные свойства: целостность, устойчивость, наблюдаемость, управляемость, детерминированность, открытость и др.;
- структурные свойства: состав, связность, сложность, централизованность и др.;
- функциональные свойства: результативность, ресурсоемкость, оперативность, активность, мощность, быстродействие и др.

Для оценки эффективности основным требованием является соответствие показателя исхода операции цели операции, реализуемой системой. Например, для АСУ, целями операции могут быть обеспечение требуемых значений оперативности, достоверности, устойчивости и безопасности решения задач управления.

Эффективность внедрения информационных технологий в вузе имеет смысл рассматривать в рамках каждого отдельного участка автоматизации. В качестве участка автоматизации будет рассматривать процессы управления и отдельно процесс подготовки специалистов. Процессы управления вузом можно выявить исходя из диаграммы «процессов управленческой деятельности». Для ВИС ЮРГУЭС такая диаграмма имеет следующий вид (см. рис. 2). С помощью нее выявим процессы автоматизации.



Рис. 2. Процессы управленческой деятельности ВИС ЮРГУЭС

Основные процессы:

- исследование рынка образовательных услуг (анализ потребности в специалистах по направлениям, анализ спроса со стороны потребителей образовательных услуг);
- планирование и проектирование учебно-воспитательной работы (разработка учебных планов, планов кафедр, рабочих программ и т.д.);
- планирование и проектирование научной работы (составление планов научной работы вуза, кафедр, преподавателей, а также графиков их реализации и контроля);
- реализация учебного процесса (создание рабочих графиков студенческих групп, разработка расписания и т.д.);
- прием студентов.

Процессы мониторинга и анализ:

- сбор внутренних данных и данных от потребителей услуг;
- мониторинг учебно-воспитательного и научного процессов;
- анализ данных;
- обеспечивающие процессы;
- управление кадрами;
- управление документами;
- управление инфраструктурой и хозяйственной частью;
- управление бухгалтерским и финансовым учетом.

Составим схему процессов автоматизации ВИС ЮРГУЭС в виде таблицы.

Перечень процессов ВИС ЮРГУЭС, требующих автоматизации

Основные процессы:	исследование рынка образовательных услуг (анализ потребности в специалистах по направлениям, анализ спроса со стороны потребителей образовательных услуг);
	планирование и проектирование учебно-воспитательной работы (разработка учебных планов, планов кафедр, рабочих программ и т.д.);
	планирование и проектирование научной работы (составление планов научной работы вуза, кафедр, преподавателей, а также графиков их реализации и контроля);
	реализация учебного процесса (создание рабочих графиков студенческих групп, разработка расписания и т.д.);
	прием студентов
Процессы мониторинга и анализ	сбор внутренних данных и данных от потребителей услуг;
	мониторинг учебно-воспитательного и научного процессов;
	анализ данных;
	формирование отчетности для контролирующих организаций
Обеспечивающие процессы; управление документами	управление кадрами;
	управление инфраструктурой и хозяйственной частью;
	управление бухгалтерским и финансовым учетом

Дополнительным модулем в категории мониторинга и анализа, не предусмотренного представленной диаграммой, должно быть формирование сведений и отчетов для контролирующих и вышестоящих организаций. В рамках этого модуля необходимо обеспечить информационный обмен согласно предоставляемым вузу форматам требованиям. Исходя из этого требования, является необходимым обеспечить взаимосвязь показателей внутреннего мониторинга с показателями отчетности.

Библиографический список

1. Крюков, В.В. Развитие информационной инфраструктуры вуза для решения задач управления [Текст] / В.В. Крюков, К.И. Шахгельдян // Университетское управление. – 2004. – № 4. – С. 67–77.
2. Галушкина, М. Массовое, гибкое и интернациональное [Текст] / М. Галушкина, В. Княгинин // Эксперт. – 2005. – № 43. – С. 108–119.
3. Модернизация образования на основе ИКТ [Текст] / М. Капенко // Высшее образование. – 2005. – № 11. – С. 167–176.
4. Информационная культура как фактор повышения конкурентоспособности выпускника вуза [Текст] / Т.П. Петухова // Вестник ОГУ. – 2002. – № 2. – С. 205–208.
5. Анфилов, В.С. Системный анализ в управлении [Текст] : учеб. пособие / В.С. Анфилов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин ; под ред. А.А. Емельянова. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 386 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алепко А.В. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Асцатуров Ю.Г. – Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета ЮРГТУ (НПИ), г. Шахты.

Бабкина Т.А. – Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса ВИС ЮРГУЭС, г. Волгодонск.

Бегляров В.В. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Безуглов Д.А. – Ростовская академия сервиса Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса РАС ЮРГУЭС, г. Ростов-на-Дону.

Береза А.Н. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Борзов Д.Б. – ГОУ ВПО «Курский государственный технический университет», г. Курск.

Валюкевич Ю.А. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Васильев В.Н. – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург.

Ермолаева Н.В. – Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса ВИС ЮРГУЭС, г. Волгодонск.

Ершова Е.А. – Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса ВИС ЮРГУЭС, г. Волгодонск.

Kim I.A. – Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса ВИС ЮРГУЭС, г. Волгодонск.

Kim I.I. – Волгодонский институт экономики, управления и права (филиал) ФГОУ ВПО «Южный Федеральный университет»

Коротков А.В. – Международный центр теоретической физики, г. Новочеркасск.

Кочковая Н.В. – Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса ВИС ЮРГУЭС, г. Волгодонск.

Литвин Н.В. – Волгодонский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета ЮРГТУ (НПИ), г. Волгодонск.

Ляшов М.В. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Мешков В.Е. – Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса ВИС ЮРГУЭС, г. Волгодонск.

Мешкова Е.В. – Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса ВИС ЮРГУЭС, г. Волгодонск.

Миронович Д.В. – Ростовская академия сервиса Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса РАС ЮРГУЭС, г. Ростов-на-Дону.

Наумов И.И. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Николенко Ю.В. – Ростовская академия сервиса Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса РАС ЮРГУЭС, г. Ростов-на-Дону.

Никуличев Н.Н. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Павлов А.В. – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург.

Писаренко В.И. – Таганрогский технологический институт Южного федерального университета (ТТИ ЮФУ), г. Таганрог.

Сахаров И.А. – Ростовская академия сервиса Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса РАС ЮРГУЭС, г. Ростов-на-Дону.

Светлаков А.Н. – Российский государственный педагогический университет им. А.И.Герцена, г. Санкт-Петербург.

Семенов В.В. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Толстунов О.Г. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Токарев А.А. – Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета ЮРГТУ (НПИ), г. Шахты.

Ханжонков Ю.Б. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Чураков В.С. – Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса ВИС ЮРГУЭС, г. Волгодонск.

Научное издание

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОЛОГИИ.
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

Сборник научных трудов

Ответственный за выпуск Н.В. Ковбасюк

ИД № 06457 от 19.12.01 г. Издательство ЮРГУЭС.

Подписано в печать 20.11.09 г.

Формат бумаги 60х84/16. Усл. печ. л. 12,1. Тираж 55 экз. Заказ № 712.

ПЛД № 65-175 от 05.11.99 г.

Типография Издательства ЮРГУЭС.

346500, г. Шахты, Ростовская обл., ул. Шевченко, 147