

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

10(206)  
2013

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с ноября 1995 г.

УЧРЕДИТЕЛЬ  
Издательство "Новые технологии"

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

- Левин В. И. Логические методы в теории конфликтов . . . . . 2  
Грибова В. В., Клещев А. С. Технология разработки интеллектуальных сервисов, ориентированных на декларативные предметные базы знаний. Часть 2. Решатель задач. Пользовательский интерфейс . . . . . 10  
Батищев В. И., Мошков И. С., Якимов В. Н. Обработка технических документов на основе оценки системной организации знаний. . . . . 15

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ

- Плесовских И. Б. Генетический алгоритм оптимизации топологии глобальной вычислительной сети . . . . . 20  
Полицын С. А., Шилов В. В. Математическая модель процесса выполнения задач при разработке программного обеспечения . . . . . 24

### ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

- Колосков В. А., Колоскова Г. П., Павлюченко Д. В., Динь Туан Лонг. Передача сообщений в реконфигурируемой отказоустойчивой многопроцессорной системе . . . . . 29  
Оцоков Ш. А. Эффективный алгоритм округления в высокоточных вычислениях в модулярной арифметике . . . . . 35

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ

- Абдуллаева Г. Г., Курбанова Н. Г., Мирзазаде И. Х. Интеллектуально-информационная система дифференциальной диагностики отравлений токсическими веществами (на примере отравлений угарным газом) . . . . . 40  
Туровский Я. А., Кургалин С. Д., Семенов А. Г. Исследование динамики максимумов локальных вейвлет-спектров вызванных зрительных потенциалов головного мозга . . . . . 46  
Яшин К. Д., Мезяная К. Н., Заливако С. С., Корневский К. М. Влияние виртуального мира на личность студента . . . . . 50

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

- Коновалов О. А., Малыков К. А., Сербулов Ю. С. Обобщенная классификация ресурсов в технологических проектах . . . . . 56

### ДИСКУССИОННЫЙ КЛУБ

- Лисин А. И. К вопросу о природе информации . . . . . 62  
Contents . . . . . 71  
Приложение. Колесников А. А., Веселов Г. Е., Колесникова С. И., Колесников Ал. А., Дзюба Ю. Н. Синерго-кибернетический подход к созданию хаосодинамических систем обработки и защиты информации.

Главный редактор:  
СТЕМПКОВСКИЙ А. Л.,  
акад. РАН

Зам. главного редактора:  
ДИМИТРИЕНКО Ю. И.,  
д. ф.-м. н., проф.  
ФИЛИМОНОВ Н. Б.,  
д. т. н., с. н. с.

Редационный совет:  
БЫЧКОВ И. В., акад. РАН  
ЖУРАВЛЕВ Ю. И., акад. РАН  
КУЛЕШОВ А. П., акад. РАН  
ПОПКОВ Ю. С., чл.-корр. РАН  
РУСАКОВ С. Г., чл.-корр. РАН  
РЯБОВ Г. Г., чл.-корр. РАН  
СОЙФЕР В. А., чл.-корр. РАН  
СОКОЛОВ И. А., акад. РАН  
СУЕТИН Н. В., д. ф.-м. н., проф.  
ЧАПЛЫГИН Ю. А., чл.-корр. РАН  
ШАХНОВ В. А., чл.-корр. РАН  
ШОКИН Ю. И., акад. РАН  
ЮСУПОВ Р. М., чл.-корр. РАН

Редакционная коллегия:  
АВДОШИН С. М., к. т. н.  
АНТОНОВ Б. И.  
БАРСКИЙ А. Б., д. т. н., проф.  
ВАСЕНИН В. А., д. ф.-м. н., проф.  
ГАЛУШКИН А. И., д. т. н., проф.  
ДОМРАЧЕВ В. Г., д. т. н., проф.  
ЗАГИДУЛЛИН Р. Ш., к. т. н., доц.  
ЗАРУБИН В. С., д. т. н., проф.  
ИВАННИКОВ А. Д., д. т. н., проф.  
ИСАЕНКО Р. О., к. т. н., с. н. с.  
КАРПЕНКО А. П., д. ф.-м. н., проф.  
КОЛИН К. К., д. т. н., проф.  
КУЛАГИН В. П., д. т. н., проф.  
КУРЕЙЧИК В. М., д. т. н., проф.  
КУХАРЕНКО Б. Г., к. ф.-м. н., доц.  
ЛЬВОВИЧ Я. Е., д. т. н., проф.  
МАЛЬЦЕВ П. П., д. т. н., проф.  
МИХАЙЛОВ Б. М., д. т. н., проф.  
НЕЧАЕВ В. В., к. т. н., доц.  
ПАВЛОВ В. В., д. т. н., проф.  
СОКОЛОВ Б. В., д. т. н., проф.  
УСКОВ В. Л., к. т. н., США  
ФОМИЧЕВ В. А., д. т. н., проф.  
ЧЕРМОШЕНЦЕВ С. Ф., д. т. н., проф.  
ШИЛОВ В. В., к. т. н., доц.

Редакция:  
БЕЗМЕНОВА М. Ю.  
ГРИГОРИН-РЯБОВА Е. В.  
ЛЫСЕНКО А. В.  
ЧУГУНОВА А. В.

Информация о журнале доступна по сети Internet по адресу <http://novtex.ru/IT>.  
Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования.  
Журнал входит в Перечень научных журналов, в которых по рекомендации ВАК РФ должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

УДК 519.711

**В. И. Левин**, д-р техн. наук, проф.,  
Пензенская государственная  
технологическая академия,  
e-mail: vilevin@mail.ru

## Логические методы в теории конфликтов

*Показано, что отношения конфликта, сотрудничества и нейтральности между системами, описываемыми с помощью аппарата алгебры логики, можно успешно изучать с помощью этого же аппарата. Такой подход обеспечивает конструктивность изучения, эффективность вычислительных алгоритмов, легкость интерпретации результатов.*

**Ключевые слова:** конфликт, сотрудничество, нейтральность, алгебра логики, логическое изучение систем

### Введение

Разнообразные конфликты присутствуют практически во всех областях, с которыми связана деятельность человека: общество, его экономика, природа, техника. Однако различные виды конфликтов до сих пор воспринимаются исследователями не как различные проявления в принципе одного и того же явления, а как существенно разные процессы. В связи с этим современная наука о конфликтах развивается по различным направлениям, связанным отчасти с типами конфликтов, но в большей степени — с полученным образованием и опытом работы исследователя. В наибольшей степени сложилось два таких направления — гуманитарное и естественно-научное. Гуманитарное направление использует традиционные качественные методы гуманитарных наук и зачастую направлено не столько на детальное изучение, сколько на способы практического разрешения психологических, педагогических, медицинских, этнических, религиозных, юридических, политических и иных подобных конфликтов [1]. Естественно-научное направление использует математические модели и методы, сходные с используемыми в естественных и точных науках — математике, физике, биологии, кибернетике; оно направлено на детальное количественное изучение конфликтных ситуаций в технических, биологических, экологических, физических, информационных и некоторых других подобных системах. Отметим также, что непрерывно

увеличивается число классов конфликтующих систем, к изучению которых привлекаются методы обоих направлений. Таковы, например, социальные, исторические, человеко-машинные, экономические, производственные, управленческие и некоторые другие системы. Сюда же следует отнести вооруженные конфликты в системах государств.

С конца 1990-х годов на базе естественно-научного направления начали создавать различные версии общей теории конфликта, различающиеся базовой концепцией и выбранными математической моделью и математическим аппаратом. Так, существует игровая теория конфликта в форме математической теории игр [2], структурная теория конфликта, построенная на основе структурно-параметрического представления конфликтующих систем [3], вероятностная теория конфликта, в которой степень конфликтности определяется с помощью аппарата теории вероятностей [4], дифференциальная теория конфликта, созданная на основе дифференциального и интегрального исчисления [5].

Известно, что большое число классов систем, в частности конфликтующих между собой систем, можно адекватно описывать в терминах математического аппарата алгебры логики [6—26]. Преимущества логического моделирования систем заключаются в конструктивности аппарата алгебры логики, наличии в нем эффективных вычислительных алгоритмов и легкости интерпретации получаемых с его помощью результатов. Все это делает целесообразным построение логической теории конфликта систем. Настоящая работа — первый шаг на пути построения указанной теории.

### 1. Постановка задачи

Для формулирования постановки задачи сначала рассмотрим несколько типичных систем различной природы.

1. Пусть существует некоторая техническая система, состоящая из основного устройства и  $n$  резервных устройств. Система запускается с работоспособным основным устройством, которое выполняет возложенную на систему функцию. При этом все резервные устройства отключены. По выходе основного устройства из строя включается 1-е резервное устройство, которое берет на себя возложенную на систему функцию. Аналогично по выходе из строя 1-го резервного устройства функцию всей системы берет на себя 2-е резервное устройство и т. д. Пусть состояние основного устройства

обозначается через  $x$ , где  $x = 1$ , если устройство работоспособно, и  $x = 0$ , если неработоспособно. Аналогично обозначим состояние  $i$ -го резервного устройства  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , где  $x_i = 1$ , если  $i$ -е устройство работоспособно,  $x_i = 0$  в противном случае. Далее, пусть состояние системы — величина  $y$ , где  $y = 1$ , если система выполняет возложенную на нее функцию, т. е. работоспособна, и  $y = 0$ , если она не выполняет эту функцию (неработоспособна). Из описания работы следует, что система работоспособна, только если работоспособны основное устройство или хотя бы одно из  $n$  ее резервных устройств. Итак, функцию состояния системы  $y = f(x, x_1, \dots, x_n)$ , выражающую зависимость состояния  $y$  от состояний устройств  $x, x_1, \dots, x_n$  в один и тот же произвольный момент времени, запишем в виде булевой логической функции

$$y = x \vee x_1 \vee \dots \vee x_n. \quad (1)$$

Здесь  $\vee$  означает логическую операцию булевой дизъюнкции. Булева логическая функция (1) представляет собой одномоментную (статическую) математическую модель функционирования описанной системы: она выражает одномоментное состояние всей системы  $y$  в виде суперпозиции логических операций дизъюнкции над состояниями в тот же момент  $x, x_1, \dots, x_n$  всех ее устройств. Эту функцию будем называть функцией состояния системы. Из выражения (1) видно, что  $y = 1$ , только если  $x = 1$  или  $x_1 = 1$  или ... или  $x_n = 1$ , что полностью соответствует описанному условию работоспособности системы.

2. Рассмотрим экономическую систему, состоящую из  $n$  однотипных организаций по обслуживанию клиентов некоторого города (магазинов или банков, или ремонтных мастерских и т. д.). Для определенности будем далее рассматривать систему магазинов. Каждый магазин имеет свой индивидуальный перечень предлагаемых товаров (продуктов). Однако множество  $A$  всех магазинов нашей системы  $A_1, A_2, \dots, A_n$  должно обладать свойством полноты, в соответствии с которым клиент, посетив все магазины этого множества, гарантированно сможет приобрести все товары (продукты) из некоторого стандартного списка минимально необходимых товаров (продуктов). Кроме того, некоторые подмножества множества всех магазинов системы могут также обладать свойством полноты. Обозначим  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , действие клиента в отношении  $i$ -го магазина, где  $x_i = 1$ , если клиент посещает этот магазин для покупки некоторой части стандартного списка необходимых товаров, и  $x_i = 0$ , если не посещает. Пусть  $\{A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_k}\}$  — некоторое полное подмножество магазинов с номерами  $i = i_1, i_2, \dots, i_k$ . Действия клиента в отношении этого подмножества магазинов, рассматриваемого как единое целое, можно описать в виде следующей логической функции  $y = f(x_{i_1}, \dots, x_{i_k})$ :

$$y = x_{i_1} \wedge x_{i_2} \wedge \dots \wedge x_{i_k}, \quad (2)$$

в которой  $y = 1$ , если клиент посещает все магазины подмножества, приобретая при этом все необходимые товары, и  $y = 0$  — в противном случае, а  $x_i$  введены выше. Здесь  $\wedge$  означает логическую операцию булевой конъюнкции. Из функции (2) видно, что  $y = 1$ , только если  $x_{i_1} = 1$  и  $x_{i_2} = 1$  и ... и  $x_{i_k} = 1$ , что полностью соответствует описанному условию работы выделенного подмножества магазинов. В дальнейшем знак  $\wedge$  булевой конъюнкции для сокращения записи будет опущен. Булеву логическую функцию  $y = f(x_{i_1}, \dots, x_{i_k})$  вида (2) естественно называть частной функцией состояния произвольного клиента при выбранном полном подмножестве магазинов  $\{A_{i_1}, \dots, A_{i_k}\}$ , поскольку она выражает зависимость состояния клиента, в смысле приобретения (неприобретения) им списка необходимых товаров, от посещения (непосещения) им всех магазинов выбранного полного подмножества магазинов. Однако клиент вправе выбрать для посещения любое полное подмножество имеющегося множества магазинов  $A$  (включая само множество  $A$ ), поскольку все они эквивалентны в смысле возможности приобретения стандартного списка товаров. Отсюда следует, что полная возможность приобретения клиентом стандартного списка товаров во всем имеющемся множестве магазинов  $A$  есть теоретико-множественное объединение его частных возможностей приобретения указанного списка товаров в отдельных полных подмножествах множества  $A$ . Это означает, что наряду с частными функциями (2) существует также общая функция состояния произвольного клиента  $y = f(x_1, \dots, x_n)$ , выражающая зависимость состояния клиента, в смысле приобретения (неприобретения) им стандартного списка товаров, от посещения (непосещения) всех магазинов хотя бы одного полного подмножества магазинов  $\{A_{i_1}, \dots, A_{i_k}\}$  имеющегося множества магазинов  $y = \{A_1, \dots, A_n\}$ . Эта функция имеет вид

$$y = \bigvee_{\{i_1, \dots, i_k\}} (x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_k}). \quad (3)$$

Дизъюнкция  $\vee$  конъюнкций переменных  $(x_{i_1}, \dots, x_{i_k})$  в выражении (3) берется по всем наборам номеров магазинов  $\{i_1, \dots, i_k\}$ , которым соответствуют полные подмножества магазинов  $\{A_{i_1}, \dots, A_{i_k}\}$ . Из (3) видно, что  $y = 1$  (клиент выкупает весь стандартный перечень товаров), только в случае, если хотя бы для одного набора  $\{i_1, \dots, i_k\}$  имеем  $x_{i_1} = 1, \dots, x_{i_k} = 1$  (т. е. клиент посещает все магазины хотя бы одного полного подмножества  $\{A_{i_1}, \dots, A_{i_k}\}$ ). Данное устройство общей функции состояния клиента системы магазинов соответствует описанным выше условиям функционирования системы. Поэтому булеву функцию (3), имеющую вид дизъюнкции конъюнкций (т. е. дизъюнктивной нормальной формы — ДНФ), можно считать статической математической моделью функционирования системы магазинов. Совершенно аналогично строятся статические ма-

тематические модели других сходных экономических систем — банков, ремонтных мастерских и т. д.

3. Пусть имеется административная система — Ученый совет, включающий председателя совета и  $n$  членов совета. Для простоты будем считать число  $n$  четным. Заседание совета правомочно, только если в нем участвует председатель совета и не менее половины членов. Обозначим состояние совета переменной  $y$ , где  $y = 1$ , если совет правомочен проводить заседание, и  $y = 0$  в противном случае. Далее, пусть  $x_i$  — состояние  $i$ -го члена совета, где  $x_i = 1$ , если  $i$ -й член совета присутствует на заседании совета, и  $x_i = 0$ , если не присутствует. Аналогично введем переменную  $x$  для обозначения состояния председателя:  $x = 1$ , если председатель присутствует на заседании совета, и  $x = 0$ , если не присутствует. Из описания работы совета следует, что заседание совета правомочно ( $y = 1$ ), только если  $x = 1$  и существует хотя бы один набор  $\{x_{i_1}, \dots, x_{i_{n/2}}\}$  из  $n/2$  переменных  $x_i$ , где  $x_{i_1} = 1, \dots, x_{i_{n/2}} = 1$ . Таким образом, функцию состояния системы  $y = f(x, x_1, \dots, x_n)$ , выражающую зависимость состояния системы  $y$  от состояния председателя  $x$  и состояний рядовых членов  $x_1, \dots, x_n$  в один и тот же произвольный момент времени, можно представить в виде следующей булевой логической функции:

$$y = x \left[ \bigvee_{\{i_1, \dots, i_{n/2}\}} (x_{i_1} x_{i_2} \dots x_{i_{n/2}}) \right]. \quad (4)$$

Дизъюнкция  $\vee$  конъюнкций переменных  $(x_{i_1}, \dots, x_{i_{n/2}})$  в функции (4) вычисляется по всем возможным конъюнкциям, включающим каждая по  $n/2$  переменных из множества  $\{x_1, \dots, x_n\}$ . Число этих конъюнкций

$$N = C_n^{n/2} = \frac{n!}{[(n/2)!]^2}. \quad (5)$$

Булева логическая функция вида (4) является статической математической моделью работы описанной выше административной системы — Ученого совета. Она выражает одномоментное состояние всей системы  $y$  в виде суперпозиции логических операций конъюнкции и дизъюнкции над состояниями в тот же момент времени  $x, x_1, \dots, x_n$  элементов системы — председателя и членов Ученого совета. Из выражения (4) видно, что  $y = 1$ , только если  $x = 1$  и хотя бы для одного набора  $\{x_{i_1}, \dots, x_{i_{n/2}}\}$  из  $n/2$  переменных  $x_i$  выполняется условие  $x_{i_1} = 1, \dots, x_{i_{n/2}} = 1$ . Это полностью соответствует описанным выше условиям работы нашей системы.

Из приведенных выше примеров можно заключить, что значительное число систем — технических, экономических, административных и т. д. (подробный список систем см. в [6—14, 17, 22, 24—26]) можно описать математически с помощью логической функции состояния, выражающей мгновен-

ное состояние системы в произвольный момент времени  $t$ , в виде суперпозиции логических операций над состояниями элементов системы в этот же момент  $t$ . Исследование каждой отдельной системы в терминах логической функции ее состояния позволило в свое время построить эффективную логическую теорию систем. С ее помощью можно успешно рассчитывать системы, анализировать и синтезировать их [6—13].

Задача настоящей работы заключается в том, чтобы распространить построенную логическую теорию отдельных систем на ситуацию взаимодействия двух или нескольких систем. Такое распространение должно позволить изучать конфликты между системами как их отрицательное взаимодействие, а сотрудничество между ними как положительное взаимодействие, используя для изучения тот же самый логический аппарат. В итоге должна быть создана логическая теория конфликта и сотрудничества систем, изучающая эти явления полностью формализованно с помощью математического аппарата алгебры логики. Разработанная теория будет аналогична логической теории цифровых вычислительных устройств [19] и иметь все преимущества последней — конструктивность представления изучаемой системы, возможность формализованного проектирования и формализованной минимизации (упрощения) ранее спроектированной системы.

## 2. Математический аппарат

В качестве математического аппарата нашей теории будем использовать алгебру логики [27], т. е. систему

$$L = (B; f_1, f_2), \quad (6)$$

где  $B = \{0, 1\}$  — двоичное множество, а  $f_1, f_2, \dots$  — все возможные операции на множестве  $B$ , называемые логическими (булевыми) функциями. В этой алгебре любая  $n$ -арная операция  $f$  из (6) есть отображение  $B^n \rightarrow B$ , т. е. функция  $y = f(x_1, \dots, x_n)$  от  $n$  переменных, где  $y, x_1, \dots, x_n \in B$ . Соответственно этому областью определения любой логической функции  $y = f(x_1, \dots, x_n)$  является множество всех  $n$ -местных двоичных наборов  $(x_1, \dots, x_n)$  значений аргументов  $x_i$ . Эти двоичные наборы имеют вид  $(00\dots 0)$ ,  $(00\dots 1)$ ,  $\dots$ ,  $(11\dots 1)$ , их общее число равно  $2^n$ . Областью значений любой логической функции  $f$  с любым набором аргументов  $x_i$  является само несущее множество  $B = \{0, 1\}$ .

Наборы  $(x_1, \dots, x_n)$ , на которых  $f = 1$ , называются единичными наборами. Совокупность единичных наборов образует единичное множество. Наборы аргументов  $(x_1, \dots, x_n)$ , на которых  $f = 0$ , называются нулевыми наборами, их совокупность образует нулевое множество.

Введенные только что булевы логические функции практически могут быть заданы пятью способами, которые различны по форме, но эквивалентны по содержанию. Перечислим эти способы.

**Табличный способ:** логическая функция задается так называемой таблицей истинности. Она имеет  $2^n$  строк по числу наборов значений аргументов  $(x_1, \dots, x_n)$ ,  $n$  столбцов значений аргументов  $x_1, \dots, x_n$  и один столбец значений функции  $y$ . Каждому набору значений аргументов  $(x_1, \dots, x_n)$  в таблице соответствует свое значение функции  $y$  (см. пример табл. 1). В таблице истинности наборы  $(x_1, \dots, x_n)$  идут в лексикографическом порядке, т. е. в порядке возрастания наборов, рассматриваемых как двоичные числа.

Таблица 1

| $x_1$ | $x_2$ | $y$ |
|-------|-------|-----|
| 0     | 0     | 0   |
| 0     | 1     | 0   |
| 1     | 0     | 0   |
| 1     | 1     | 1   |

**Графический способ:** функция задается  $n$ -мерным единичным кубом, вершинам которого соответствуют различные возможные наборы значений аргументов  $(x_1, \dots, x_n)$ , которым приписаны соответствующие значения функции  $y$ . Наборы относительно вершин расставляются так, чтобы соседним вершинам соответствовали соседние (т. е. различающиеся одним элементом) наборы. Примеры задания логических функций с помощью графического способа показаны на рис. 1, 2.

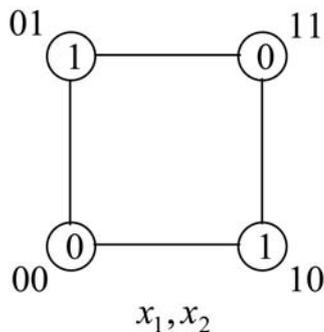


Рис. 1. Графическое задание логической функции двух аргументов

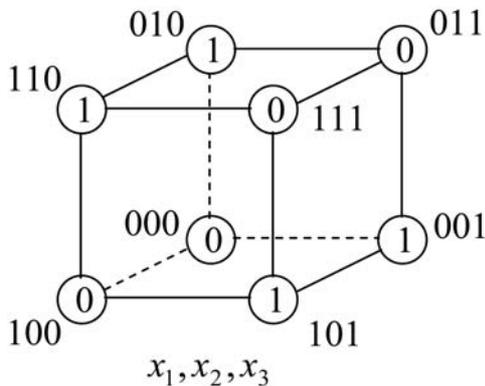


Рис. 2. Графическое задание логической функции трех аргументов

**Координатный способ:** логическая функция задается картой Карно, имеющей  $2^n$  клеток — по числу наборов значений аргументов. Каждая клетка определяется координатами строки и столбца. При этом все аргументы разбиваются на две группы так, что своими значениями одна группа определяет координаты строки, а другая группа — координаты столбца. В любой клетке проставляется значение функции на данном наборе значений аргументов, состоящем из поднаборов, определяющих координаты строки и столбца, на пересечении которых стоит эта клетка.

Клетки называют единичными и нулевыми, в соответствии с проставленными в них значениями функции. Пример карты Карно дан в табл. 2, где представлена некоторая функция четырех переменных  $x_1, x_2, x_3, x_4$ . Заметим, что поднаборы  $x_1, x_2$  и  $x_3, x_4$  значений аргументов расположены в табл. 2 так, что соседним строкам и столбцам соответствуют соседние поднаборы.

Таблица 2

|            |    | $x_3, x_4$ |    |    |    |
|------------|----|------------|----|----|----|
|            |    | 00         | 10 | 11 | 01 |
| $x_1, x_2$ | 00 | 1          | 0  | 1  | 1  |
|            | 10 | 0          | 1  | 1  | 0  |
|            | 11 | 1          | 0  | 0  | 1  |
|            | 01 | 1          | 0  | 0  | 1  |

**Числовой способ:** булева логическая функция задается здесь множеством десятичных номеров единичных наборов значений аргументов. Так, присвоив двоичным аргументам  $x_1, x_2$  соответственно веса  $2^0, 2^1$ , получим запись функции (см. рис. 1) в виде  $f = \{1, 2\}_{x_1, x_2}$ .

**Аналитический способ:** функция  $f$  задается формулой в виде суперпозиции нескольких более простых функций  $f_1, \dots, f_m$ .

Тот или иной способ задания логических функций выбирается в зависимости от числа аргументов функции и вида решаемой задачи [27].

Выделяют логические функции одного и двух аргументов, так называемые элементарные функции. С помощью суперпозиции полных наборов этих функций можно строить любые логические функции от любого числа аргументов [6, 27]. Будем использовать булев полный набор  $\{\vee, \wedge, \bar{\phantom{x}}\}$ , который включает двухместные логические функции дизъюнкцию  $\vee$  и конъюнкцию  $\wedge$  и одноместную функцию отрицание  $\bar{\phantom{x}}$ , определяемые так:

$$\begin{aligned}
 x_1 \vee x_2 &= \begin{cases} 1, & \text{при } x_1 = 1 \text{ или } x_2 = 1, \\ 0, & \text{при } x_1 = 0 \text{ и } x_2 = 0; \end{cases} \\
 x_1 \wedge x_2 &= \begin{cases} 1, & \text{при } x_1 = 1 \text{ и } x_2 = 1, \\ 0, & \text{при } x_1 = 0 \text{ или } x_2 = 0; \end{cases} \\
 \bar{x} &= \begin{cases} 1, & \text{при } x = 0, \\ 0, & \text{при } x = 1. \end{cases}
 \end{aligned} \tag{7}$$

Дизъюнкция и конъюнкция (7) распространяются на любое число аргументов  $x_i$ . Чаще всего для экономии записи знак конъюнкции  $\wedge$  опускают и вместо  $x_1 \wedge x_2$  пишут  $x_1x_2$ . Нам еще потребуются две специальные сложные логические функции  $F$  и  $\Phi$ , конструируемые из двух любых логических функций  $f_1$  и  $f_2$  следующим образом:

$$F = \begin{cases} 1, & \text{если } f_1 = f_2, \\ 0, & \text{если } f_1 \neq f_2; \end{cases} \quad \Phi = \begin{cases} 1, & \text{если } f_1 \neq f_2, \\ 0, & \text{если } f_1 = f_2. \end{cases} \quad (8)$$

При этом функцию  $F$  назовем функцией совпадения  $f_1$  и  $f_2$ , а функцию  $\Phi$  — функцией несовпадения (расхождения)  $f_1$  и  $f_2$ . Из (7), (8) видно, что функции  $F$  и  $\Phi$  можно выразить аналитически через функции  $f_1$  и  $f_2$  с помощью логических операций дизъюнкции, конъюнкции и отрицания (7):

$$F = f_1f_2 \vee \bar{f}_1\bar{f}_2, \quad \Phi = f_1\bar{f}_2 \vee \bar{f}_1f_2. \quad (9)$$

Кроме того, из выражений (7), (8) видно, что функции  $F$  и  $\Phi$  взаимно обратны, т. е. каждая равна отрицанию другой

$$F = \bar{\Phi}, \quad \Phi = \bar{F}. \quad (10)$$

Будем использовать в дальнейшем две числовые характеристики логических функций: 0-норму  $N_0$  и 1-норму  $N_1$ . Так, 0-норма логической функции  $n$  аргументов  $y = f(x_1, \dots, x_n)$  есть отношение числа ее нулевых наборов к общему числу наборов. 1-нормой функции  $n$  аргументов  $y = f(x_1, \dots, x_n)$  называется отношение числа ее единичных наборов к общему числу наборов. Поскольку общее число наборов значений аргументов функции  $f(x_1, \dots, x_n)$  равно сумме чисел ее нулевых и единичных наборов, справедливо равенство

$$N_0 + N_1 = 1. \quad (11)$$

Для нахождения в явной форме функций совпадения  $F$  и расхождения  $\Phi$  можно использовать аналитический метод, работая по такому алгоритму.

**Шаг 1.** Выписать аналитические представления функций  $f_1, f_2$  (или привести эти функции к аналитическому представлению, если оно не было задано, используя общеизвестные методы приведения [27]).

**Шаг 2.** Подставить полученные на шаге 1 аналитические представления функций  $f_1, f_2$  в формулы (9).

**Шаг 3.** Найденные начальные аналитические выражения функций  $F$  и  $\Phi$  привести к стандартной форме (дизъюнктивная нормальная форма (ДНФ), конъюнктивная нормальная форма (КНФ) и т. д.), используя общеизвестные методы приведения [27].

Явную форму функций  $F$  и  $\Phi$  можно найти также табличным методом, используя следующий алгоритм.

**Шаг 1.** Записать табличное представление функций  $f_1, f_2$  (или привести их к табличному виду, если он не был задан, используя общеизвестные методы приведения к заданному виду [27]).

**Шаг 2.** Получить табличное представление отрицаний функций  $\bar{f}_1, \bar{f}_2$ , для чего надо в таблицах истинности  $f_1, f_2$  заменить значения  $f_1 = 0, f_2 = 0$  на значения  $f_1 = 1, f_2 = 1$  и наоборот.

**Шаг 3.** Найти табличное представление конъюнкций  $f_1f_2, \bar{f}_1\bar{f}_2, f_1\bar{f}_2, \bar{f}_1f_2$ , для чего следует в каждой клетке таблицы с данным набором значений аргументов обеих функций проставить значение 1, если обе функции, входящие в конъюнкцию, равны на этом наборе 1, и 0 в противном случае.

**Шаг 4.** Получить табличное представление двучленных дизъюнкций, а именно  $f_1f_2 \vee \bar{f}_1\bar{f}_2$  и  $f_1\bar{f}_2 \vee \bar{f}_1f_2$ , для чего нужно в каждой клетке таблицы с некоторым набором значений аргументов обоих членов проставить значение дизъюнкции 0, если оба члена, входящих в дизъюнкцию, равны на данном наборе 0, и значение дизъюнкции 1, если хотя бы один из членов равен 1.

В результате выполнения шага 4 в соответствии с формулами (9) мы получим табличные представления функций  $F$  и  $\Phi$ .

Для подсчета 1-нормы и 0-нормы любой логической функции проще всего воспользоваться табличным алгоритмом: взять таблицу истинности этой функции, сосчитать в ней числа единичных и нулевых наборов значений аргументов и затем разделить их на общее число наборов функции. При этом первый результат даст 1-норму, второй — 0-норму. Можно также использовать карту Карно функции; порядок действий при этом аналогичен предыдущему [19]. Еще один, аналитический способ подсчета норм логической функции основан на приведении ее к совершенной ДНФ (СДНФ) или совершенной КНФ (СКНФ). Приравняв каждую конъюнкцию аргументов в СДНФ к 1, найдем соответствующий набор значений аргументов функции; это и будет единичный набор. В итоге получим все единичные наборы; оставшиеся наборы, очевидно, будут нулевыми. Аналогично, приравняв каждую дизъюнкцию аргументов в СКНФ к 0, найдем соответствующий набор значений аргументов функции, это и будет нулевой набор. В итоге получим все нулевые наборы; оставшиеся наборы — единичные. Заметим, что для вычисления 1- и 0-норм логической функции необязательно находить сами наборы — нужно лишь найти их число. Это легко установить по виду СДНФ или СКНФ; число конъюнкций в СДНФ есть число единичных наборов, а число дизъюнкций в СКНФ — число нулевых наборов.

### 3. Метод решения

Изложенный в разд. 2 математический аппарат алгебры логики, вместе с хорошо разработанной методологией использования этого аппарата для проектирования цифровых вычислительных уст-

роиств [27], позволяют эффективно решить поставленную в разд. 1 задачу разработки логико-алгебраической теории взаимодействия двух или нескольких систем.

Пусть есть две произвольные системы  $A_1$  и  $A_2$  одинакового назначения с одним и тем же числом элементов  $n$ , статическая математическая модель работы которых задается логическими функциями состояния  $y = f_1(x_1, \dots, x_n)$  и  $y = f_2(x_1, \dots, x_n)$ . Эти функции представляют собой статические математические модели систем (разд. 1), выражая одномоментное состояние системы  $y$  в виде суперпозиции операций дизъюнкции, конъюнкции и отрицания над состояниями в тот же момент времени  $x_1, \dots, x_n$  элементов системы.

На основе двух систем  $A_1$  и  $A_2$  с функциями состояния  $f_1$  и  $f_2$  построим теперь две новые системы. Функция состояния  $f_c$  первой системы  $A_c$  определяется как функция совпадения  $F$  функций состояния  $f_1$  и  $f_2$  заданных систем. Систему  $A_c$  назовем системой совпадения заданных систем  $A_1$  и  $A_2$ . Ее функция состояния  $f_c$  определяется в виде

$$f_c = F(f_1, f_2), \quad (12)$$

и может быть вычислена через известные функции состояния  $f_1, f_2$  заданных систем  $A_1, A_2$  по (9). Функция состояния  $f_p$  второй системы  $A_p$  определяется как функция расхождения  $\Phi$  функций состояния  $f_1, f_2$  заданных систем. Систему  $A_p$  назовем системой расхождения заданных систем  $A_1$  и  $A_2$ . Ее функция состояния  $f_p$ , согласно сказанному, определяется в виде

$$f_p = \Phi(f_1, f_2) \quad (13)$$

и может быть также найдена по уже известным функциям состояния  $f_1, f_2$  заданных систем  $A_1, A_2$  с использованием формулы (9). Основные практически полезные свойства, которыми обладают системы совпадения и расхождения, можно сформулировать в следующем виде.

1. Система совпадения  $A_c$  систем  $A_1, A_2$  находится в состоянии 1 тогда и только тогда, когда  $A_1$  и  $A_2$  находятся в одинаковых состояниях: 0 или 1. Другими словами, функция состояния  $f_c$  системы совпадения  $A_c$  равна 1 в тех и только тех случаях, когда функции состояния  $f_1, f_2$  систем  $A_1$  и  $A_2$  принимают равные значения:  $f_1 = f_2 = 1$  или  $f_1 = f_2 = 0$ .

2. Система расхождения  $A_p$  систем  $A_1, A_2$  находится в состоянии 1 в тех и только тех случаях, при которых системы  $A_1$  и  $A_2$  находятся в различных состояниях:  $A_1$  — в состоянии 1,  $A_2$  — в состоянии 0 или наоборот. Иными словами, функция состояния  $f_p$  системы расхождения  $A_p$  равна 1 в тех и только тех случаях, когда функций состояния  $f_1$  и  $f_2$  систем  $A_1, A_2$  принимают противоположные значения:  $f_1 = 1, f_2 = 0$  или  $f_1 = 0, f_2 = 1$ .

Эти свойства позволяют сводить изучение отношений двух систем (сотрудничества или конфликта) к изучению свойств одной системы, а именно,

системы совпадения исходных систем или системы их расхождения.

Пусть доля всех наборов аргументов  $(x_1, \dots, x_n)$ , на которых функции состояния  $f_1(x_1, \dots, x_n)$  и  $f_2(x_1, \dots, x_n)$  двух рассматриваемых систем  $A_1$  и  $A_2$  принимают различные значения, равна  $q$ . Тогда доля всех наборов аргументов, на которых эти функции принимают одинаковые значения, равна  $r = 1 - q$ . Введем пороговое значение  $q^*$  величины  $q$ , достаточно близкое к 1 (например,  $q^* = 0,7$  или  $0,8$ , или  $0,9$  и т. д.), и аналогичное пороговое значение  $r^*$  величины  $r$ . Будем говорить, что системы  $A_1$  и  $A_2$  находятся в отношении конфликта, если значение показателя  $q$  удовлетворяет условию

$$q > q^*, \quad (14)$$

и что системы  $A_1$  и  $A_2$  находятся в отношении сотрудничества, если фактическое значение показателя  $r$  удовлетворяет условию

$$r = 1 - q > r^*. \quad (15)$$

Таким образом, две системы считаются по определению конфликтующими, если доля случаев  $q$ , для которых эти системы находятся в противоположных состояниях (одна в состоянии 1, другая в состоянии 0), превышает пороговое значение  $q^*$ , близкое к единице.

Аналогично, две системы считаются по определению находящимися в состоянии сотрудничества, если доля случаев  $r$ , для которых эти системы находятся в одинаковых состояниях (обе в состоянии 1 либо в состоянии 0), больше порогового значения  $r^*$ , близкого к единице.

Понятия конфликта и сотрудничества систем, введенные выше, можно обобщить следующим образом. Пусть  $q$  — доля всех наборов аргументов, на которых логические функции состояния  $f_1, f_2$  двух систем  $A_1, A_2$  принимают различные (противоположные) значения, а  $r = 1 - q$  — доля наборов, на которых эти функции принимают одинаковые значения. Тогда можно говорить, что рассматриваемые системы  $A_1$  и  $A_2$  в степени  $q$  находятся в состоянии конфликта и в степени  $r = 1 - q$  — в состоянии сотрудничества.

Введенное таким образом общее определение конфликта и сотрудничества систем отличается от предыдущего не только количественно — в нем нет количественных требований к параметрам систем  $q$  и  $r$ , но и качественно, поскольку по нему системы могут одновременно конфликтовать и сотрудничать. Если же параметры  $q$  и  $r$  удовлетворяют требованиям (14) и (15), данное общее определение переходит в предыдущее.

Теперь, наконец, мы можем дать общий, полностью формализованный метод вычисления с помощью введенного логико-алгебраического аппарата показателей конфликта и сотрудничества различных систем. Алгоритм указанного метода состоит из следующих шагов.

**Шаг 1.** Для двух заданных систем  $A_1, A_2$ , имеющих логические функции состояния соответственно  $f_1, f_2$ , строим систему совпадения  $A_c$ . Построение заключается в вычислении функции состояния  $f_c = F(f_1, f_2)$  системы  $A_c$  путем использования аналитического или табличного алгоритмов, изложенных в разд. 2 настоящей статьи.

**Шаг 2.** Находим 1-норму  $N_1^c$  функции состояния  $f_c$  системы совпадения  $A_c$  двух заданных систем  $A_1, A_2$ . Для этого используем соответствующий табличный или аналитический алгоритм, описанный в разд. 2. Согласно сказанному выше, вычисленное значение  $N_1^c$  равно доле случаев  $r$  (доле от числа всех наборов аргументов), в которых функции состояния  $f_1, f_2$  рассматриваемых систем  $A_1, A_2$  принимают одинаковые значения.

**Шаг 3.** Назначаем пороговое значение  $r^*$  параметра  $r$ , близкое к 1. Тогда, если  $r > r^*$ , объявляем системы  $A_1, A_2$  находящимися в отношении сотрудничества. Если же  $r < 1 - r^*$ , то объявляем системы  $A_1, A_2$  находящимися в отношении конфликта. Если же  $1 - r^* \leq r \leq r^*$ , то объявляем системы  $A_1, A_2$  нейтральными друг к другу.

**Шаг 4** (используется вместо шага 3 при более широком понимании конфликта и сотрудничества систем). Объявляем системы  $A_1$  и  $A_2$  находящимися одновременно в отношении сотрудничества на значение показателя  $r$  и в отношении конфликта на значение показателя  $q = 1 - r$ .

Можно также построить алгоритм анализа отношения двух систем  $A_1, A_2$  с логическими функциями состояния соответственно  $f_1, f_2$  на базе системы расхождения  $A_p$  этих систем. Данный алгоритм строится путем вычисления логической функции состояния  $f_p = \Phi(f_1, f_2)$  системы  $A_p$  с помощью аналитического или табличного алгоритма, изложенных в разд. 2. Такой алгоритм анализа содержит те же четыре шага, что и предыдущий, и отличается лишь тем, что вычисляемая в нем на шаге 2 1-норма  $N_1^p$  функции состояния  $f_p$  показывает долю случаев  $q$  (долю от числа всех наборов аргументов), в которых функции состояния  $f_1, f_2$  рассматриваемых систем  $A_1, A_2$  принимают различные (противоположные) значения. Показатель  $q$  связан с показателем  $r$ , по которому анализировалось отношение

систем  $A_1, A_2$  в предыдущем алгоритме, формулой  $q = 1 - r$ .

**Пример.** Для приема вступительных экзаменов в некотором университете создано три комиссии из четырех человек каждая. Комиссия  $A_1$  решает судьбу экзаменуемого большинством голосов. В случае равного числа голосов "ЗА" и "ПРОТИВ" большинство определяется голосом председателя. Приемная комиссия  $A_2$  принимает положительное решение простым большинством голосов, когда председатель не имеет никакого преимущества, так что в этом случае для принятия положительного решения экзаменуемый должен получить не менее трех голосов "ЗА". Комиссия  $A_3$  принимает решение модифицированным большинством голосов: в дополнение к правилу простого большинства голосов, ситуация равного числа голосов "ЗА" и "ПРОТИВ" трактуется в пользу экзаменуемого. Требуется установить отношения между тремя комиссиями в терминах "конфликт—сотрудничество".

**Решение. Шаг 1.** Вычисленные в соответствии с условиями задачи логические функции состояния  $f_1, f_2, f_3$  систем  $A_1, A_2, A_3$  показаны в табл. 3. В этой таблице  $x_1, x_2, x_3$  — состояния членов комиссии,  $x_4$  — состояние председателя ( $x_i = 1$  — голосование "ЗА",  $x_i = 0$  — "ПРОТИВ"),  $f_1, f_2, f_3$  — состояния комиссии ( $f_i = 1$  — итог голосования — "ЗА",  $f_i = 0$  — "ПРОТИВ").

Строим системы совпадения  $A_c^{1,2}, A_c^{1,3}, A_c^{2,3}$  для пар систем  $A_1, A_2; A_1, A_3; A_2, A_3$ , для чего с помощью табличного алгоритма из разд. 2 вычисляем логические функции состояния  $f_c^{1,2}, f_c^{1,3}, f_c^{2,3}$  этих систем совпадения. Эти функции состояния также показаны в табл. 3.

**Шаг 2.** Найдем 1-нормы  $N_1^{1,2}, N_1^{1,3}, N_1^{2,3}$  функций состояния  $f_c^{1,2}, f_c^{1,3}, f_c^{2,3}$ , используя соответствующий табличный алгоритм из разд. 2. Вычисленные нормы дают нам следующие значения параметра  $r^{i,j}$  — доли случаев, где функции состояния  $f_i, f_j$  систем  $A_i, A_j$  принимают одинаковые значения

$$N_1^{1,2} = r^{1,2} = 0,81, N_1^{1,3} = r^{1,3} = 0,81,$$

$$N_1^{2,3} = r^{2,3} = 0,63.$$

Таблица 3

| $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $f_1$ | $f_2$ | $f_3$ | $f_c^{1,2}$ | $f_c^{1,3}$ | $f_c^{2,3}$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $f_1$ | $f_2$ | $f_3$ | $f_c^{1,2}$ | $f_c^{1,3}$ | $f_c^{2,3}$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1           | 1           | 1           | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1           | 1           | 1           |
| 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1           | 1           | 1           | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1           | 0           | 0           |
| 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1           | 1           | 1           | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1           | 0           | 0           |
| 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0           | 1           | 0           | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1           | 1           | 1           |
| 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1           | 1           | 1           | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1           | 0           | 0           |
| 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0           | 1           | 0           | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1           | 1           | 1           |
| 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0           | 1           | 0           | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1           | 1           | 1           |
| 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1           | 1           | 1           | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1           | 1           | 1           |

**Шаг 3.** Выбираем пороговое значение  $r^*$  параметра  $r$ , равное  $r^* = 0,8$ . Тогда, поскольку  $r^{1,2} > r^*$  и  $r^{1,3} > r^*$ , а  $1 - r^* \leq r^{2,3} \leq r^*$ , то пары систем (1,2) и (1,3) надо считать находящимися в отношении сотрудничества, а пару (2,3) — находящейся в нейтральном отношении.

**Шаг 4.** При более широком понимании конфликтов и сотрудничества систем мы можем объявить пару систем (1,2) находящейся на  $r^{1,2} = 0,81$  в отношении сотрудничества и на  $q^{1,2} = 1 - r^{1,2} = 0,19$  в отношении конфликта. Аналогично пару систем (1,3) можно объявить находящейся на  $r^{1,3} = 0,81$  в отношении сотрудничества и на  $q^{1,3} = 1 - r^{1,3} = 0,19$  в отношении конфликта, а пару систем (2,3) находящейся на  $r^{2,3} = 0,63$  в отношении сотрудничества и на  $q^{2,3} = 1 - r^{2,3} = 0,37$  в отношении конфликта.

Отношения сотрудничества, конфликта и нейтральности между системами, которыми в нашем случае являются различные комиссии по приему абитуриентов, нужно понимать соответственно как возможность, невозможность и проблематичность совмещения результатов работы этих комиссий.

### Заключение

В работе показано, что различные возможные отношения — конфликт, сотрудничество и нейтральность — между системами различной природы, описываемыми по отдельности с помощью аппарата алгебры логики, можно успешно изучать с помощью этого же аппарата. Преимущество логико-алгебраического подхода к изучению отношений между системами проявляется в том же самом, что и при использовании этого подхода к изучению отдельных систем, а именно, в конструктивности аппарата алгебры логики, наличии в нем эффективных алгоритмов вычислений и легкости интерпретации получаемых с его помощью результатов.

### Список литературы

1. Фишер Р., Юри У. Путь к согласию или переговоры без поражения. М.: Наука, 1992.
2. Нейман Дж., Моргенштерн О. Математическая теория игр. М.: Наука, 1970.
3. Сысоев В. В. Конфликт. Сотрудничество. Независимость. Системное взаимодействие в структурно-параметрическом представлении. М.: Изд-во Московской академии экономики и права, 1999.
4. Светлов В. А. Аналитика конфликта. СПб.: Росток, 2001.
5. Дружинин В. В., Конторов Д. С., Конторов М. Д. Введение в теорию конфликта. М.: Радио и связь, 1989.
6. Левин В. И. Математическое моделирование социально-экономических процессов (автоматно-логические методы и модели). Пенза: Изд-во Пензенского технологического ин-та, 1997.
7. Левин В. И. Теория автоматов и моделирование сложных систем. Пенза: Изд-во Пензенского государственного технического ун-та, 1995.

8. Левин В. И. Автоматное моделирование в социологии: анализ группового поведения // Гуманитарные науки и современность. Вып. 1. Часть 2. Пенза: Изд-во Пензенского государственного технического ун-та, 1995.

9. Левин В. И. Автоматные модели и методы в политологии: анализ поведения политических систем // Гуманитарные науки и современность. Вып. 2. Пенза: Изд-во Пензенского государственного технического ун-та, 1996.

10. Левин В. И. Динамический автомат как модель динамического поведения социальных групп // Гуманитарные науки и современность. Вып. 3. Пенза: Изд-во Пензенского государственного технического ун-та, 1997.

11. Левин В. И. Математическое моделирование систем с помощью динамических автоматов // Информационные технологии. 1997. № 9.

12. Левин В. И. Математическое моделирование систем с помощью автоматов // Вестник Тамбовского ун-та. Серия: Естественные и технические науки. 1997. Т. 2, № 2.

13. Левин В. И. Анализ социальных групп с помощью автоматной модели // Гуманитарные науки и современность. Вып. 4. Пенза: Изд-во Пензенского государственного технического ун-та, 1998.

14. Левин В. И. Автоматная модель определения возможного времени проведения коллективных мероприятий // Известия РАН. Теория и системы управления. 1999. № 3.

15. Левин В. И. Математическое моделирование Библии. Характеристический автоматный подход // Вестник Тамбовского ун-та. Серия Естественные и технические науки. 1999. Т. 4. № 3.

16. Левин В. И. Автоматное моделирование коллективных мероприятий // Автоматика и телемеханика. 1999. № 12.

17. Левин В. И. Математическое моделирование потока исторических событий методами теории автоматов // Гуманитарные науки и современность. Вып. 5. Пенза: Изд-во Пензенского государственного технического ун-та, 1999.

18. Левин В. И. Математическое моделирование Библии. Характеристический подход // Гуманитарные науки и современность. Вып. 5. Пенза: Изд-во Пензенского государственного технического ун-та, 1999.

19. Левин В. И. Введение в математическую библиистику. Пенза: Изд-во Пензенского технологического ин-та, 1999.

20. Левин В. И. Математическое моделирование библейской легенды о Вавилонском столпотворении // Вестник Тамбовского ун-та. Серия: Естественные и технические науки. 2001. Т. 6, № 2.

21. Левин В. И. Математическое моделирование библейской истории о Вавилонском столпотворении и рассеянии народов // Внеэрациональные формы постижения бытия. Ульяновск: Изд-во Ульяновского государственного технического ун-та, 2001.

22. Левин В. И. Моделирование процессов образования коллектива из индивидуумов // Математическая морфология. 2001. Т. 3, № 3.

23. Левин В. И. Математическое моделирование библейских событий // Наука, религия, общество. 2002. № 3.

24. Левин В. И. Автоматное моделирование исторических процессов на примере войн // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. 2002. № 12.

25. Левин В. И. Автоматное моделирование процессов возникновения и распада коллектива // Кибернетика и системный анализ. 2003. № 3.

26. Левин В. И. Логико-математическое моделирование занятости // Импликативная алгебра выбора и непрерывная логика в прикладных задачах науки и техники. Труды Международной конференции "Континуальные алгебраические логики, исчисления и нейроматематика в науке, технике и экономике". Т. 2. Ульяновск: Изд-во Ульяновского государственного технического ун-та, 2002.

27. Поспелов Д. А. Логические методы анализа и синтеза схем. М.: Энергия, 1974.

**В. В. Грибова**, д-р техн. наук, зав. лаб.,  
e-mail: gribova@iacp.dvo.ru,

**А. С. Клещев**, д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.,  
Институт автоматизации и процессов управления  
ДВО РАН, г. Владивосток

## Технология разработки интеллектуальных сервисов, ориентированных на декларативные предметные базы знаний

### Часть 2. Решатель задач. Пользовательский интерфейс

*Данная работа является продолжением цикла работ, представляющего описание технологии разработки и сопровождения интеллектуальных систем как интеллектуальных сервисов. В основе лежит принцип четкого разделения между декларативными знаниями (знаниями предметной области) и процедурными (о методе решения задачи). Вторая часть посвящена описанию разработки решателя задач и пользовательского интерфейса.*

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы, облачные технологии, семантические технологии, онтологии, базы знаний, мультиагентные системы

#### Введение

В работе описывается технология разработки интеллектуальных систем, в основе которой лежит принцип полного разделения процедурных и декларативных знаний. В соответствии с предложенной технологией база знаний интеллектуальной системы формируется по онтологии, при этом существенным отличием от других технологий, прежде всего Protege, является четкое разделение между уровнями. Такое разделение труда предполагает формирование онтологии инженерами знаний через интерфейс, ориентированный на метаязык, и базы знаний экспертами через сгенерированный по онтологии интерфейс. Часть вторая посвящена описанию единых технологических принципов формирования решателей задач и пользовательских интерфейсов.

#### Решатель задач

В предлагаемой концепции все информационные ресурсы имеют единое

унифицированное представление — семантические сети; в этом случае решатель задач можно рассматривать как программу обработки информационных ресурсов, представленных таким образом. Результатом решения задачи является либо формирование нового информационного ресурса, например, объяснения в экспертной системе медицинской диагностики, либо модификация входного информационного ресурса. Типичным примером решателя, модифицирующего входной информационный ресурс, является интеллектуальная система для взаимодействия пользователя с виртуальными сценами [1]. На вход такой системы поступает семантическая сеть — декларативная модель состояния виртуальной сцены, сформированная экспертом и дизайнером по соответствующей онтологии. Задача решателя — генерация виртуального мира по декларативному описанию сцены (модели виртуальной сцены), обработка событий пользователя при взаимодействии с элементами сцены и модификация состояния модели для перехода в следующее состояние сцены, после чего действия решателя повторяются (рис. 1).

Множество входных и выходных данных задается параметрами решателя. Двухуровневый подход к представлению информационных ресурсов (метаинформация—информация) позволяет в качестве описателей формальных параметров решателя задач (входных и выходных) использовать имена метаинформации информационных ресурсов. Перед запуском решателя задач осуществляется задание его фактических параметров, в качестве которых выступают имена информационных ресурсов, соответствующие метаинформации, заданной в описателях формальных параметров. Например, для решателя задач медицинской диагностики описателями входных формальных параметров являются онтология базы знаний медицинской диагностики

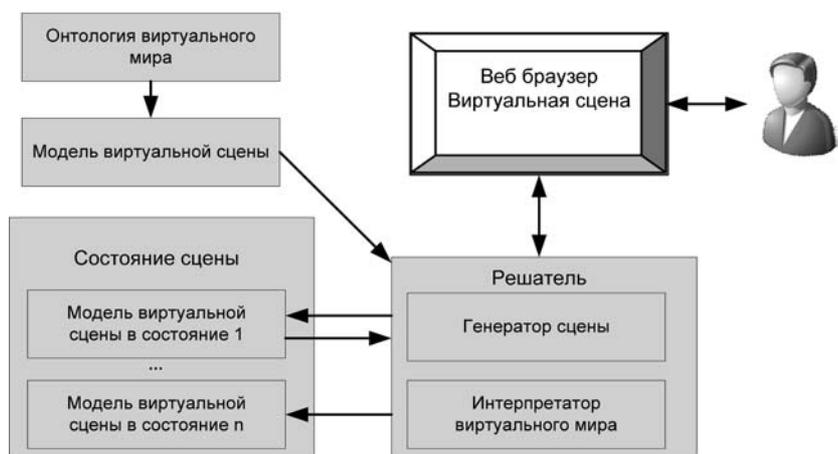


Рис. 1. Концептуальная архитектура интеллектуальной системы для взаимодействия пользователя с виртуальными сценами

и онтология истории болезни, а описателем выходного параметра — онтология объяснения, которые выступают в качестве метаинформации информационных ресурсов. Фактическими параметрами являются семантические сети, представляющие базу знаний для одного из разделов медицины, сформированную по онтологии базы знаний, и конкретная история болезни, сформированная по онтологии истории болезни, а также объяснение, формируемое решателем задач по онтологии объяснения и входным данным.

Вычислительный процесс, выполняемый решателем задач, состоит в построении графа выходной информации по графу выходной метаинформации и входным данным, если граф выходной информации не полностью порожден, либо в модификации этого графа, если он, как входные данные, полностью порожден (возможен и смешанный вариант). В первом случае в начале порождения граф выходной информации состоит из единственной корневой вершины, помеченной служебной меткой — "непорожденная вершина". Каждый шаг вычислительного процесса связан с некоторой вершиной в графе информации (назовем ее активной). Если активная вершина помечена служебной меткой "непорожденная вершина", то шагом вычислительного процесса может быть:

- порождение метки активной вершины и множества дуг и вершин, выходящих из нее (число дуг ограничивается типом структурированного набора и спецификаторами дуг в графе метаинформации); в результате выполнения данного шага активная вершина помечается служебной меткой "порожденная вершина", а вновь порожденные вершины помечаются служебными метками "непорожденные вершины";
- порождение значения некоторого сорта, если активной вершине в графе метаинформации соответствует терминальная вершина с меткой "Терминал Сорт"; в результате выполнения данного шага активная вершина помечается служебной меткой "порожденная вершина".

Если активная вершина помечена служебной меткой "порожденная вершина", то шагом вычислительного процесса может быть:

- модификация метки активной вершины и множества дуг, выходящих из нее (число дуг ограничивается типом структурированного набора и спецификаторами дуг в графе метаинформации); в результате выполнения данного шага служебная метка активной вершины не меняется;
- модификация значения некоторого сорта, если активной вершине в графе метаинформации соответствует терминальная вершина с меткой "Терминал Сорт"; в результате выполнения данного шага служебная метка активной вершины также не меняется;

- модификация-удаление поддерева с корнем, совпадающим с активной вершиной; в этом случае активная вершина помечается служебной меткой "непорожденная вершина".

Решатель задач представляет собой совокупность агентов. Агент — повторно используемый программный компонент, взаимодействующий с другими агентами посредством приема и передачи сообщений. Агент состоит из двух частей — декларативной и процедурной.

Декларативная часть включает описание множества блоков (рис. 2). Каждый блок есть пара — метаинформация сообщения (онтология сообщения) и множество продукций. Метаинформация сообщения определяет язык, на котором представлена информация в сообщении, посылаемая этому блоку этого агента, т. е. агент, посылающий сообщение другому агенту, должен знать онтологию этого сообщения (агенты могут взаимодействовать между собой на разных языках). Таким образом, с одной стороны, агенты взаимодействуют друг с другом на языках, задаваемых метаинформацией сообщений, с другой — каждое сообщение (с метаинформацией) — информационный ресурс, имеющий унифицированный способ представления.

Продукция (процедурная часть агента) состоит из условия (антецедента) и действия (консеквента). Антецеденты используются для анализа сообщения, выбора применимых методов и передачи им информации из сообщения; консеквент по сути является вызовом такого метода, который выполняет обработку информации, выбранной антецедентом из сообщения для решения связанной с агентом подзадачи. Для каждого блока продукций определена своя метаинформация сообщения. Если сообще-

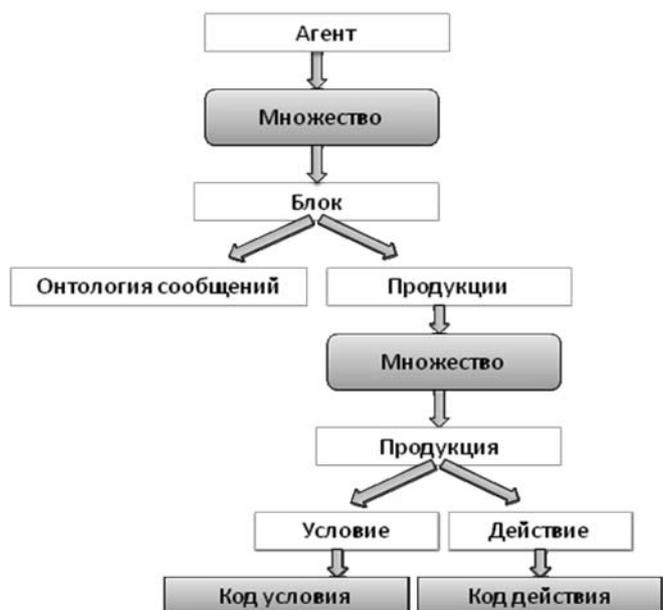


Рис. 2. Структура агентов

ние передается агенту, то оно обрабатывается тем блоком, с которым связана метаинформация этого сообщения, и теми продуктами этого блока, antecedentes которых имеют значение "истина" на этом сообщении (ситуация, когда агент не имеет блока продуктов, с которым связана метаонтология поступившего сообщения, считается аварийной). Результатом работы метода может быть формирование и посылка сообщения конкретному агенту либо подмножеству агентов, ограниченных некоторым условием, а также шаги формирования или модификации некоторых информационных ресурсов.

Агенты могут быть двух основных типов: повторно используемыми и специализированные. *Повторно-используемыми агентами* являются:

- проблемно-независимые вычислительные агенты, решающие стандартные часто используемые вычислительные задачи;
- агенты, обрабатывающие информационные ресурсы; обрабатываемыми будем называть агенты, осуществляющие шаги порождения и модификации информационных ресурсов, а также и запрос информации из них; повторная использование агентов этого типа достигается за счет того, что все информационные ресурсы имеют единое унифицированное представление, а при порождении и модификации информационных ресурсов поддерживается соответствие между метаинформацией и информацией;
- интерфейсные агенты, осуществляющие взаимодействие с пользователями.

*Специализированные агенты* — это вычислительные агенты, решающие узкоспециализированные подзадачи, либо управляющие агенты (через которые осуществляется координация вычислений, выполняемых различными агентами).

В этом случае решатель задач — это совокупность повторно используемых и, возможно, специализированных агентов. Единственное ограничение на состав агентов внутри решателя — они "должны знать" шаблоны сообщений агентов, которым они посылают и от которых они принимают сообщения. Поскольку решатель имеет формальные параметры (входные и выходные), описываемые через метаинформацию информационных ресурсов, каждый решатель применим к классу задач, связанных с этой метаинформацией.

Проектирование решателя задач состоит в декомпозиции основной задачи формирования или модификации информационных ресурсов на совокупность подзадач, решаемых агентами, с учетом ранее разработанных повторно используемых агентов, и определении взаимосвязей между этими подзадачами.

Объединение агентов (подзадач) в решатель может осуществляться двумя способами:

- через посылку сообщений; сообщение может быть либо послано по обратному адресу, либо в сообщении указывается конкретный адресат;
- созданием специального информационного ресурса — управляющего графа, через который агенты связываются между собой.

Использование единого формата представления метаинформации и информации (язык ИРУО) позволило разработать конечное множество программных интерфейсов (функций), которые обеспечивают универсальный доступ к информационным ресурсам для их обработки компьютерными программами (агентами). При этом они устроены таким образом, что поддерживается соответствие между информацией и метаинформацией. Выделены следующие основные классы функций:

- получения имен меток вершин и дуг семантической сети;
- порождения и редактирования вершин и дуг семантической сети;
- получения значений;
- проверки различных условий (например, является ли указанная строка значением термина  $T$ , исходит ли дуга из вершины с меткой  $m$ , входит ли в вершину с меткой  $m$  дуга и др.);
- перемещения по семантической сети (например, переход к прямому потомку вершины с меткой  $m$ , переход по заданному пути, переход к вершине с меткой  $m$  и др.);
- общего назначения (например, функция получения имени метаинформации для информационного ресурса с именем  $m$ , функция получения имен всех информационных ресурсов для метаинформации с именем  $m$ ).

Использование стандартного набора программных интерфейсов освобождает программиста от дополнительных усилий (написание программного кода) для обеспечения доступа к представлению информационных ресурсов.

## Пользовательский интерфейс

Пользовательский интерфейс реализуется через повторно используемых агентов. Для упрощения разработки пользовательского интерфейса в состав агентной платформы входит специальный агент "Вид". Агент "Вид" содержит реализации всех интерфейсных элементов, поддерживаемых текущей версией (текстовое поле, кнопка управления, поле ввода, переключатели — флажки и радиокнопки, пролистываемый и раскрывающийся списки, комбобокс, ссылки). Он осуществляет прорисовку элементов и реализует их поведение. Расширение множества поддерживаемых интерфейсных элементов возможно через модификацию агента "Вид". Интерфейсные элементы могут породить различные события, вызванные действиями пользователя или системы (ввод символов с клавиатуры, выбор элемента, срабатывание системного таймера и др.).

Поступившие события обрабатываются агентом "Вид", который формирует сообщения агенту решателя, далее это сообщение обрабатывается этим агентом и посылается новое сообщение либо другому агенту решателя, либо агенту "Вид", который формирует очередное состояние пользовательского интерфейса и отображает его через клиентское программное обеспечение (браузер).

Помимо агента "Вид" выделен набор интерфейсных агентов, осуществляющих адаптацию интерфейсной задачи к данным, с которыми она связана, т. е. интерфейсный агент выбирает адекватный интерфейсный элемент либо их группу, соответствующие данным, из множества реализованных в агенте "Вид".

В общем случае каждый интерфейсный агент во входном сообщении получает имя агента решателя, который посылает ему сообщение, и множество входных данных для выбора интерфейсного элемента; выходное сообщение интерфейсного агента, которое он посылает агенту "Вид", включает имя агента решателя, входные данные, интерфейсный элемент (элементы). Имя агента решателя необходимо для того, чтобы агент "Вид" посылал выходную информацию напрямую агенту решателя, минуя интерфейсный агент.

### **Платформа для реализации агентного подхода**

Платформой для разработки интеллектуальных интернет-сервисов является Интернет-комплекс IASaaS (Intelligent Application, Control and Platform as a Service) [2], предоставляющий: контролируемый доступ и единую систему администрирования для создания интеллектуальных сервисов и их компонентов, представленных семантическими сетями и агентами (в том числе интерфейсными); поддержку функционирования сервисов и агентов (через передачу и обработку сообщений, запуск методов, а также распараллеливания вычислений в сервисах).

В основе платформы лежит программно-информационный комплекс, основанный на технологии облачных вычислений и обеспечивающий удаленный доступ конечных пользователей к интеллектуальным системам, а разработчикам и управляющим — к средствам создания интеллектуальных систем и их компонентов, а также управления ими.

Комплекс является развитием Многоцелевого компьютерного банка знаний, разработанного ранее для создания и использования информационных ресурсов различных уровней общности (онтологий, знаний, данных), представленных семантическими сетями [3, 4]. Основными архитектурными компонентами Интернет-комплекса IASaaS являются: административная система, виртуальная машина и фонд.

Фонд представляет собой совокупность единиц хранения — программных и информационных ресурсов различных типов; для удобства навигации

он разделен на предметные области, а те, в свою очередь, на разделы; каждый раздел содержит относящиеся к нему единицы хранения: прикладные (в частности, интеллектуальные сервисы) и инструментальные средства (средства разработки и управления), их агенты, информационные ресурсы.

Административная система предназначена для всех пользователей проекта. Через нее они могут просматривать доступное им содержимое фонда; подавать заявки на регистрацию в предметных областях фонда, регистрацию полномочий, модификацию фонда, а также реализовывать свои полномочия. Административная система реализована в виде набора сервисов (средств администрирования), объединенных сайтом платформы.

Виртуальная машина представляет собой совокупность трех процессоров: процессора информационных ресурсов, процессора решателей задач, процессора пользовательского интерфейса, а также ряда вспомогательных средств. Каждый процессор представляет собой набор функций для поддержки соответствующих компонентов интеллектуального приложения.

*Процессор информационных ресурсов* представляет собой набор функций обработки информационных ресурсов фонда, доступный разработчикам и сопровождающим виртуальной машины, а также разработчикам и сопровождающим кода программных компонентов, а также специальный сервис — редактор информационных ресурсов.

*Процессор решателей задач* состоит из инициализатора и коммуникационной системы. Инициализатор осуществляет запуск прикладных и системных сервисов. Коммуникационная система представляет собой набор функций, предназначенный для активизации агентов решателей задач, а также формирования и передачи сообщений между ними.

*Процессор пользовательского интерфейса* состоит из агента "Вид", описанного выше, и набора интерфейсных агентов, осуществляющих адаптацию интерфейса к наборам входных/выходных данных.

### **Заключение**

В работе описана технология разработки и сопровождения интеллектуальных систем как интеллектуальных сервисов и платформа, поддерживающая описанную технологию.

В основе предлагаемой технологии разработки интеллектуальных сервисов (ИС) лежит принцип четкого разделения между декларативными знаниями (знаниями предметной области) и процедурными знаниями (о методе решения задачи). Дальнейшее развитие получил двухуровневый подход к созданию баз знаний и сложноструктурированных баз данных, который предполагает, что вся информация представлена в виде неразрывной пары метаинформация — информация; информация формируется экспертом по метаинформации, соз-

данной инженером по знаниям. В отличие от технологии "Protege", которая также предлагает формирование знаний по метаинформации, в предлагаемой технологии жестко разделены терминология инженера по знаниям и эксперта, что делает возможным формирование и сопровождение баз знаний и данных непосредственно носителями этой информации, т. е. экспертами и специалистами предметной области без посредников в лице инженеров знаний.

Поддержка процесса формирования и сопровождения информационных ресурсов обеспечивается универсальным редактором, который по метаинформации, созданной инженером по знаниям, генерирует пользовательский интерфейс для эксперта. В системе "Protege" также имеется универсальный редактор знаний, управляемый метаинформацией, однако, по сути, там предлагается общий редактор для инженеров по знаниям и экспертов, а отсутствие четкого разделения между их терминологиями делает практически невозможной самостоятельную работу экспертов предметной области без участия в ней инженеров по знаниям. Дополнительным различием между редакторами "Protege" и ИРУО является предоставление последнего как облачного сервиса.

Все информационные ресурсы имеют единый унифицированный формат представления — семантическую сеть. Это обеспечивает возможность доступа ко всем типам ресурсов (как данным, так и знаниям) через оболочку, предоставляющую набор программных интерфейсов, скрывающий формат их внутреннего представления, что значительно упрощает к ним доступ, поскольку разработчику не надо знать детали внутренней организации информации и программировать доступ к ней.

Решатель задач представляется в виде совокупности агентов, где каждому агенту соответствует подзадача решаемой задачи. Агент является повторно используемым компонентом, представленным семантической сетью и связанным с ней множеством блоков продукций. В отличие от технологии

"Protege", которая фиксирует классы задач, решаемых ИС, в данной технологии нет такого ограничения, каждый агент связан с уникальной подзадачей, которая может быть как проблемно-независимой (что расширяет круг ее использования), так и проблемно-ориентированной на класс задач, ограниченный некоторой метаинформацией (проблемно-ориентированный агент в общем случае связан с фрагментом метаинформации и, соответственно, может быть применен к обработке любого фрагмента информации, которая создается или модифицируется по тому фрагменту метаинформации, с которой связан агент).

Пользовательский интерфейс в отличие от "Protege" не является частью метода решения задачи. Он реализуется через системный агент "Вид", который является компонентом платформы и реализует поведение пользовательского интерфейса на основе входящих в него реализаций интерфейсных элементов, а также набора дополнительных интерфейсных агентов, которые обеспечивают адаптацию интерфейса к пользователю и наборам входных данных. Пользовательский интерфейс реализуется через браузер, что обеспечивает также его кросс-платформенность и возможность использования на всех компьютерах, включая мобильные устройства.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН в рамках Программы ОНИТ РАН (проект 12-1-ОНИТ-04) и РФФИ (проект 12-07-00179).*

#### Список литературы

1. Грибова В. В., Федорищев Л. А. Интернет-комплекс для создания обучающих систем с виртуальной реальностью // Дистанционное и виртуальное обучение. 2012. № 7. С. 4—12.
2. Грибова В. В., Клещев А. С., Крылов и др. Проект IASPaas — развиваемый комплекс для разработки, управления и использования интеллектуальных систем // Искусственный интеллект и принятие решений. 2011. № 1. С. 27—35.
3. Клещев А. С., Орлов В. А. Компьютерные банки знаний. Многоцелевой банк знаний // Информационные технологии. 2006. № 2. С. 2—8.
4. Клещев А. С., Орлов В. А. Компьютерные банки знаний. Универсальный подход к решению проблемы редактирования информации // Информационные технологии. 2006. № 5. С. 25—31.

**В. И. Батищев**, д-р техн. наук, проф., зав. каф.,  
**И. С. Мошков**, преподаватель, канд. техн. наук,  
e-mail: is.moshkov@mail.ru,  
**В. Н. Якимов**, д-р техн. наук, проф.  
Самарский государственный  
технический университет

## Обработка технических документов на основе оценки системной организации знаний

*Рассматривается проблема извлечения инженерных знаний в процессе обработки технической документации и управления знаниями. Предлагается структурная модель системно-организованных инженерных знаний, которая позволяет сопоставить элементы обрабатываемых знаний с их классификацией. При этом классифицируются как отдельные элементы знаний, так и их сочетания, что позволяет дать оценку степени различия по значению между обрабатываемой и нормативной документацией в случае многозначной трактовки результатов обработки документации.*

**Ключевые слова:** обработка текстов, естественный язык, языковые конструкции, оценка знаний, профессиональные знания, структурная модель

### Введение

Задача управления инженерными знаниями и их обработки, а также интеграции в процессе принятия решений является актуальной проблемой автоматизированного управления техническими процессами и объектами, которой в настоящее время уделяется значительное внимание. Основным источником инженерных знаний является техническая документация, в которой описаны технологические процессы вместе с задействованными в них объектами, средствами и инструментами. Также источником инженерных знаний являются профессиональные знания специалистов, которые должны соответствовать технической документации.

Традиционно проблема управления инженерными знаниями в формализованном виде решается за счет структурирования и семантического связывания обрабатываемой информации [1]. Известные инструментальные средства обработки технической документации имеют ряд ограничений, которые существенно уменьшают область и эффективность их практического применения. Это объясняется тем, что существующие системы хранят знания либо как множество слабосвязанных элементов, либо без явной их системной организации. Как правило, такие средства ограничиваются поиском ключевых слов, связанных с ними лингвистическими шаблонами,

интерпретацией результатов синтаксического разбора и построения семантической сети распознанных участков предложения [2]. При обработке инженерной документации такие инструменты могут выдать текстовые блоки со схожей семантикой и построить их тезаурус. В то же время в практических задачах экспертов, работающих с инженерными знаниями, все чаще не устраивает единый стандартизованный механизм поиска и анализа, доступный на сегодняшний день для обработки технической документации. Возникает необходимость оптимизировать процесс такой обработки за счет оценки системной организации содержащихся в них знаний, принимая во внимание знания и цели самого эксперта. В процессе такой оптимизации было отмечено, что техническая документация включает в себя таксономическую классификацию, которая системно описывает все составляющие технологического процесса. Такая классификация позволяет однозначно идентифицировать элемент технологического процесса и оценивать допустимость его появления в случае неоднозначной трактовки результатов обработки. Данная оценка может рассчитываться на основе логической связи между элементами технологического процесса, на сопоставимости текстового описания этого элемента, а также на предположении о пропущенных смысловых частях.

### Анализ организации документов с таксономической классификацией

Исходя из изложенного выше, для формулирования требований к формальному аппарату обработки текстового представления таксономии был проведен его системный анализ. В процессе этого анализа использовали два подхода к рассмотрению текста: имманентный и репрезентативный.

Имманентный подход исходил из рассмотрения текста как законченного по своему содержанию фрагмента и был направлен на выявление его внутренней структуры [3].

В свою очередь репрезентативный подход основывался на рассмотрении текста как формы представления знаний об объективно существующей по отношению к нему области профессиональных интересов [4].

Обозначим текстовое представление таксономии как  $\varphi$ , а отдельную языковую конструкцию, имеющую определенную смысловую роль в описании таксономии, как  $\omega_i$ . Тогда текстовое представление таксономии можно записать в следующем виде:

$$\varphi = \langle \omega_i | i = 1..N \rangle,$$

где  $N$  — общее число языковых конструкций в тексте.

В текстовом представлении таксономии можно выделить два основных типа языковых конструкций в зависимости от выполняемой ими функции:

1) *Obj* — языковые конструкции, описывающие в тексте производственные объекты, их состояния, а также технологические процессы (например, "нефть", "добыча нефти"), далее упоминаемые только как "объекты";

2) *Mt* — языковые конструкции, которые связывают описанные в высказывании объекты между собой (например, "делится", "стоит", "подразделяется") и описывают особенности структуры системы объектов (например, "включает три варианта", "имеет два возможных типа деления").

Обозначим языковые конструкции первого типа как "язык-объект", а второго типа — "метаязык". В текстовом представлении таксономии основная роль отводится языку-объекту как средству описания (*номинации*) всех элементов таксономии (*таксонов*) и их свойств. Метаязык в текстах любого типа имеет меньшее значение, чем текст с описательной функцией. Поэтому набор метаязыковых конструкций, как правило, представлен в сравнительно меньшем объеме. В текстовом представлении таксономии множество языковых конструкций метаязыка значительно меньше, чем множество аналогичных конструкций в тексте общего типа. Это объясняется тем, что число видов связей между элементами таксономии сильно ограничено.

Выделенные два типа языковых конструкций являются основой для построения таксономической структуры, представленной в тексте. Помимо них, в тексте может присутствовать группа языковых конструкций, не относящихся к описанию таксономии и имеющих множество различных форм, свойственных свободному высказыванию.

На основе приведенных выше типов языковых конструкций текстовое представление таксономии описывается следующим образом:

$$\varphi = \langle Obj, Mt, Nc \rangle,$$

где *Nc* — множество нецелевых языковых конструкций.

Текст, описывающий таксономию, состоит из множества последовательно связанных предложений:

$$\varphi = \langle p_i^\varphi | i = 1 \dots N \rangle,$$

где  $p_i^\varphi$  — *i*-е предложение; *N* — общее число предложений.

На уровне предложения также можно разделить языковые конструкции в зависимости от выполняемой ими функции.

Рассмотрим высказывание в виде следующего предложения:

$$\varphi = \langle Obj^p, L, K, T \rangle,$$

где  $Obj^p$  — множество терминов предложения  $p_i^\varphi$ ; *L* — множество связей между терминами; *K* — множество критериев деления терминов; *T* — множество метаязыковых конструкций, описывающих качественные особенности таксономии. Множество

$Obj^p$  относится к "языку-объекту", а множества *L*, *K*, *T* — к метаязыку.

Текст на естественном языке является открытой системой, и следовательно, нельзя гарантировать полностью достоверность его анализа и понимание. Однако на основе общепринятых правил формирования и ограничений языковых конструкций текстового представления таксономии, можно сформировать шаблоны, позволяющие проводить обработку текста. Все это дает возможность упростить процесс анализа и проводить его на основе подготовленных шаблонов языковых конструкций. В процессе анализа текстового представления таксономии с большой долей вероятности возникают альтернативные трактовки его результатов. Шаблоны позволяют назначать на них приоритеты, а также исключить из процесса анализа ложные и достаточно некорректные языковые конструкции. Под шаблонами понимается набор правил, которые определяют последовательность и объекты операций анализа текстового представления таксономии, а также их приоритет.

В зависимости от целей анализа и обрабатываемых элементов в текстовом представлении таксономии можно выделить различные результаты такой обработки. На уровне текста задачей анализа является нахождение в нем описания таксономии. При этом на уровне абзаца выделяются непересекающиеся фрагменты таксономии. На уровне предложения следует учитывать особенности построения связного текста. Поэтому на этом уровне выделяются ссылки на описанные объекты и осуществляется описание новых объектов, а также связей между этими объектами.

На уровне термина нормальной является конструкция вида

$$Obj = \langle P, k, Sub \rangle, \quad (1)$$

где *P* — множество признаков объекта; *k* — ядро термина; *Sub* — субъект, который подчинен объекту *k*.

Таким образом, в текстовом представлении таксономии на естественном языке можно выделить характеристики четырех основных функциональных элементов, которые приведены ниже:

- 1) элемент описания объектов *Obj*;
- 2) элемент описания связей между объектами *L*;
- 3) элемент группировки объектов по критериям деления *K*;
- 4) элемент описания структурных особенностей таксономии *T*.

Отметим, что элемент описания связей *L* между объектами, как правило, связывает один объект с группой объектов, т. е. он находится на уровне оперирования объектами. Элемент группировки объектов *K* определяет различные виды связей объектов, т. е. он находится на уровне оперирования связями. Элемент описания особенностей таксономии *T* предоставляет информацию на уровне

фрагмента структуры. Таким образом, можно выделить три уровня метаязыка — объектов, связей и структуры в целом.

В процессе анализа высказывания важную роль играет отделение языка-объекта от метаязыка. С одной стороны, число слов и функционал метаязыковых конструкций сильно ограничены, а с другой стороны, в представлении таксономии для построения описываемой структуры обработка метаязыковых конструкций играет второстепенную роль. Поэтому для анализа метаязыковых конструкций можно применять шаблоны типичных оборотов [5].

### Формальное описание элементов таксономической структуры

Таким образом, проведенный анализ показал, что для таксономии можно определить специфику ее представления в тексте на естественном языке. Она заключается в том, что основой формирования предложений текстового представления таксономии являются таксоны, заданные в виде терминов и связи между ними. В соответствии с тем, что таксоны являются основой формирования таксономии, для построения модели ее описания необходимо также провести анализ текстового описания таксонов. Связывание таксонов между собой осуществляется за счет метаязыковых средств. Эти метаязыковые средства в текстовом представлении таксономии выполняют ограниченный набор функций, который выражается в описании особенностей таксономии на различных уровнях описания ее элементов. Следовательно, построение модели таксономии также основывается на определении связей между таксонами и их текстовым представлением.

Рассмотрим способы представления языка-объекта в текстовом описании таксономии. Как было показано выше, с усложнением структуры таксономии увеличивается число родственных классифицируемых понятий. Это приводит к тому, что усложняются языковые конструкции, предназначенные для текстового обозначения таких понятий. Поэтому необходимо провести анализ текстового представления сложных объектов для составления соответствующего шаблона его обработки. При этом языковую конструкцию, обозначающую смысловой объект, будем рассматривать как *термин*.

В общем случае простейшее высказывание  $\varphi$  состоит из отдельных терминов таксономии  $t_i$ , представляющих собой независимые слова. В простейшем высказывании для каждого из образующих его терминов ядром, которое ассоциируется с его смысловым значением, является непосредственно сам термин, т. е.  $t_i = \langle k_i \rangle$ . Если использовать обобщенные понятия термина  $t$  и его ядра  $k$ , то структура терминов задается как

$$t = \langle k \rangle. \quad (2)$$

В случае высказывания для текстового описания таксономии на основе терминов со структурой (2) достаточно использовать *партитивную* связь. Для примера рассмотрим высказывание: "*Насос состоит из нескольких основных частей: корпуса, валов, сальников, подшипников*". В данном высказывании имеется пять терминов: "*насос*", "*корпуса*", "*валы*", "*сальники*", "*подшипники*". Имеем  $\{t_0, t_1, t_2, t_3, t_4\} \in \varphi$  и для каждого из этих терминов справедливо соотношение (2). При этом *партитивная* связь устанавливает, что понятия "*корпуса*", "*валы*", "*сальники*", "*подшипники*" в рамках одной иерархической системы являются частью понятия "*насос*".

Далее рассмотрим высказывание: "*По химической классификации нефть делится на: парафиновые нефти, нафтеновые нефти, ароматические нефти*". Это высказывание состоит из четырех терминов: "*нефть*", "*парафиновые нефти*", "*нафтеновые нефти*" и "*ароматические нефти*", т. е.  $\{t_0, t_1, t_2, t_3, t_4\} \in \varphi$ . Однако в этом примере структура термина "*нефть*" описывается как  $t_0 = \langle k \rangle$ , а остальные термины  $t_1, t_2, t_3, t_4$  имеют структуру следующего вида:

$$t_i = \langle p_i k \rangle, \quad (3)$$

где  $p_i$  — признак, задающий отдельное свойство ядра  $k$  "*нефть*".

В рассматриваемом примере для определения нового родственного понятия используется признак  $p_i$  ("*парафиновые*", "*нафтеновые*" и "*ароматические*"). Структура термина (3) также может определять новое понятие посредством изменения ядра термина  $k$ . Указанный вариант описания классификации является наиболее часто используемым.

Дальнейшее усложнение таксономии приводит к появлению в одном термине нескольких более простых и возможно независимых терминов. Далее для определенности при рассмотрении усложнения таксономии будем использовать пример: "*Повреждения рельсов делятся на изгибы, повреждения в шейке, изломы по всему сечению и дефекты подошвы. Изломы бывают поперечными с видимыми пороками и без видимых пороков*". В этом высказывании присутствуют термины разных типов.

Одним из видов усложнения структуры термина является добавление субъектной части *Sub*, которая ссылается на другой объект и является одним из вариантов модификации понятия, определяемого ядром  $k$ . Для этого случая структуру термина можно представить как:

$$t = \langle k, Sub \rangle.$$

В нашем примере субъектной части *Sub* соответствует второе слово в термине "*повреждения рельсов*", т. е.  $t = \langle \text{повреждение, рельсов} \rangle$ .

Другим вариантом модификации понятия является случай, когда одна составная часть термина

связана логической конструкцией с другой частью этого термина. Для этого случая имеем

$$t = \langle k, \text{Log} \rangle.$$

Для нашего примера данный вариант модификации понятия можно проиллюстрировать на структуре понятия "изломы с видимыми пороками". Здесь *Log* — составная часть термина "пороки", связанная логической конструкцией термина "излом", т. е.  $t = \langle \text{повреждение, рельсов} \rangle$ .

Также усложнение таксономии приводит к росту количества составных частей элементов, однако структура терминов остается практически неизменной. Например, прилагательная часть термина может выражаться как прилагательными, причастными оборотами, так и текстовыми конструкциями, которые описывают признак термина, но в которых нельзя выделить отдельный термин предметной области.

Будем понимать под *сложным термином* языковую конструкцию, которая, с одной стороны, представляет термин, а с другой стороны, в составе множества слов данной конструкции представляет собой подмножество, описывающее другой термин. Сложный термин может содержать также другой сложный термин. На основе рассмотренных выше примеров можно выделить семантические роли слов, используемые при описании сложного термина в текстовом представлении таксономии. Ниже приведены характеристики указанных ролей.

1. Слово может являться ядром *k* термина и ассоциироваться с основным смысловым значением объекта.

2. Слово может обозначать субъектную часть термина *Sub*, которое модифицирует значение всего термина за счет вложенных терминов и может упоминаться в тексте как самостоятельный термин (например, слово "нефть" в термине "переработка нефти").

3. Слово может относиться к признаковой части термина *P*, состоящего из множества признаков  $p_i$ , которое характерно для ядра *k* термина.

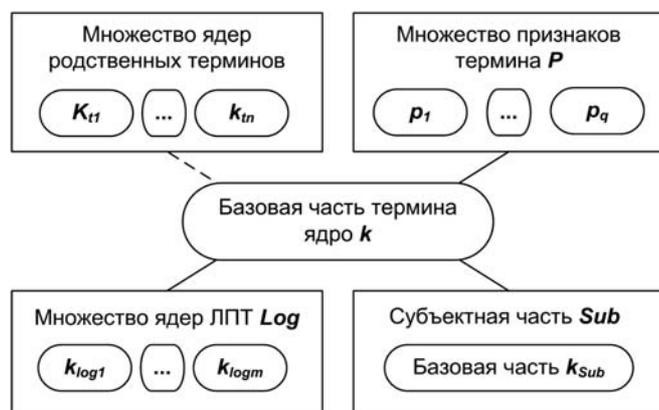


Схема семантических ролей языковых конструкций сложного термина

4. Слово может принадлежать логической части термина *Log* — множеству логически присоединенных терминов (ЛПТ) к основному термину.

Множество ролей слов сложного термина и связей между ними отражено на схеме семантических ролей языковых конструкций (см. рисунок).

Можно выделить два способа описания объектов:

- только на основе терминов;
- на основе терминов с включением логических операций над ними.

Последнее характерно в том случае, когда термин не существует для обозначения какого-либо понятия или вместо него используется его расшифровка (например "нефть" и "горючая масляная жидкость"). Из этого следует, что для обеспечения оценивания высказываний необходимо учитывать различные формы представления одного понятия в таксономии.

Таким образом, специфика представления терминов в тексте, описывающем таксономию, определяется близостью их значений и выражается в соответствующих средствах формирования таксономии как на уровне системы в целом, так и на уровне отдельных таксонов. Структура термина может усложняться за счет использования в своем составе более простых терминов. Родственные термины имеют одинаковые по смысловому значению элементы, однако отличаются рядом элементов, которые модифицируют значение базовой части термина.

В данном случае целесообразно рассматривать значение термина как совокупность значений составляющих его слов в связи с тем, что в таксономии термины определяют множество родственных понятий. Поэтому важны не только смысловое значение термина в целом, но также и средства модификации понятия.

### Разработка формальной модели сложных терминов

Подход, при котором текстовое представление термина связывается с его значением, позволяет, с одной стороны, определить равенство значений двух терминов, а с другой стороны, выявить их общие и специфические части на основе операций над множеством значений. Таким образом, термин в таксономии описывается набором слов, каждое из которых имеет свое значение и может подчиняться другому значению:

$$t = \langle \{sem_1, \dots, sem_N\}, F_H, F_r \rangle,$$

где  $sem_i$  — хранимое смысловое значение;  $N$  — число смысловых значений, определяемых языковыми конструкциями термина;  $F_H$  — функция, определяющая связь двух значений  $sem_i$  и  $sem_j$  в термине;  $F_r$  — функция, определяющая роль значения  $sem_i$ . Функция  $F_H$  определяется соотношением

$$F_H : (sem_i, sem_j) \rightarrow l = \{l_n, l_{kk}, l_{pk}, l_{kl}\},$$

где  $l_n$  — отсутствие прямой связи;  $l_{kk}$  — связь между двумя ядрами;  $l_{pk}$  — связь между ядром и признаком;  $l_{kl}$  — связь между ядром и ядром ЛПТ.

Функция  $F_r$  имеет вид:

$$F_r(\text{sem}_r) \rightarrow \varepsilon = \{\varepsilon_k, \varepsilon_p, \varepsilon_{ks}, \varepsilon_{kl}\},$$

где  $\varepsilon_k$  — роль ядра;  $\varepsilon_p$  — роль признака;  $\varepsilon_{ks}$  — роль ядра субъектной части;  $\varepsilon_{kl}$  — роль ядра ЛПТ.

Введем обозначения значений в соответствии с семантическими ролями  $\varepsilon$ :

$$k = \text{sem} \rightarrow F_r(k) = \varepsilon_k; \quad (4)$$

$$p = \text{sem} \rightarrow F_r(p) = \varepsilon_p \cap F_H(k, p) = l_{pk}; \quad (5)$$

$$k^S = \text{sem} \rightarrow F_r(k^S) = \varepsilon_{ks} \cap F_H(k, k^S) = l_{kk}; \quad (6)$$

$$k^L = \text{sem} \rightarrow F_r(k^L) = \varepsilon_{kl} \cap F_H(k, k^L) = l_{kl}; \quad (7)$$

где  $k$  — основное ядро термина;  $p$  — признак термина;  $k^S$  — ядро субъектной части термина;  $k^L$  — ядро ЛПТ.

В соответствии с обозначениями (4—7) выражение (1), определяющее термин на основе смысловых значений, можно представить как

$$t = \langle \{p_1^k, \dots, p_N^k\}, k, t^{S(k)}, \{t_1^{L(k)}, \dots, t_M^{L(k)}\} \rangle,$$

где  $N$  — число подчиненных ядру  $k$  признаков;  $M$  — число подчиненных  $k$  ЛПТ;  $t^{S(k)}$  — внутренний термин с внутренним ядром  $k^S$ , подчиненным  $k$ ;  $t^{L(k)}$  — ЛПТ с ядром  $k^L$ , подчиненным ядру  $k$ .

Приведенная модель имеет иерархическую структуру с типизированными вершинами и связями, а также с неограниченным числом уровней, определяемых цепочкой вложенных ядер  $k^S$ . Вершиной этой структуры является ядро термина  $k$ , определяющее его основное понятие. Множество признаков  $P$  является листьями данной структуры и расширяет понятие, задаваемое родительским ядром. Любое вложенное ядро  $k^S$  или ядро  $k^L$  может образовывать термины  $t^S$  и  $t^L$  соответственно, с аналогичной иерархической структурой всему термину  $t$ . Также на рисунке можно отметить типизацию связей в зависимости от типа соединяемых вершин. Соединение типа  $l_{pk}$  связывает одну из вершин дерева с терминальной вершиной (листочком). Соеди-

нение типа  $l_{kl}$  определяется логическим условием. Для соединения типа  $l_{kk}$  характерно отсутствие логического условия и возможность связи между нетерминальными вершинами. Сложный термин имеет рекурсивную структуру и теоретически может иметь в своем составе неограниченное число внутренних терминов. Однако максимальное число внутренних терминов наполнения модели ограничено свойствами человеческой памяти.

## Заключение

Таким образом, в работе рассмотрен один из аспектов автоматизированной обработки технической документации, связанный с идентификацией описанных в нем производственных объектов. При этом идентификация объекта осуществляется по классификации значения каждого из слов описания данного объекта. Анализ текстового представления таксономии показал, что основой формирования предложений текстового представления таксономии являются таксоны, заданные в виде терминов, и связи между таксонами. Связывание терминов между собой осуществляется за счет метаязыковых средств, функция которых выражается в описании особенностей таксономии на различных уровнях ее представления. Данная модель позволяет осуществлять автоматизированную обработку текстового представления таксономии как на уровне отдельных терминов, так и на уровне таксономии в целом, а также интерпретировать полученные результаты обработки.

## Список литературы

1. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000. 384 с.
2. Большакова Е. И., Клышинский Э. С., Ландэ Д. В., Носков А. А., Пескова О. В., Ягунова Е. В. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика: учеб. пособие. М.: Изд. МИЭМ, 2011. 272 с.
3. Солсо Р. Когнитивная психология. 6-е изд. СПб.: Питер, 2006. 589 с.
4. Уэно Х., Исидзука М. Представление и использование знаний. М.: Мир, 1989. 220 с.
5. Мошков И. С. Структурный анализ сложных терминов в технических документах // Интеллектуальные системы в производстве. 2011. № 2. С. 270—278.

УДК 004.7

**И. Б. Плесовских**, аспирант,  
e-mail: iplesovskih@gmail.com  
Омский государственный университет  
им. Ф. М. Достоевского

## Генетический алгоритм оптимизации топологии глобальной вычислительной сети

*Предлагается генетический алгоритм оптимизации топологии глобальной вычислительной сети, минимизирующий задержку информации при передаче по сети и суммарную длину связей, а также максимизирующий вероятность прохождения информации по сети без потерь. При применении алгоритма к небольшой вычислительной сети выявлено, что алгоритм достаточно быстро выходит на насыщение, но в то же время сходится к определенному решению достаточно медленно, что позволяет получить более хорошие результаты. Результатом работы алгоритма является топология сети с приемлемыми параметрами функционирования.*

**Ключевые слова:** задача оптимизации, вычислительные сети, глобальные сети, генетический алгоритм, топология сети, пропускная способность сети, стоимость сети

### Введение

Оптимизация топологии является важной частью построения вычислительных сетей. Топология сети тесно связана с функционированием сети, ее пропускной способностью, надежностью и стоимостью. Под надежностью вычислительной сети обычно подразумевают наличие альтернативных путей от источника к приемнику. Под стоимостью же вычислительной сети понимают совокупную длину всех связей и их пропускную способность. Целями оптимизации обычно являются минимизация стоимости развертывания сети, максимизация количества информации, передающейся по сети в единицу времени, а также минимизация потерь информации при передаче. Одним из подходов к оптимизации топологии вычислительных сетей является применение генетических алгоритмов [1—4].

При использовании генетического алгоритма различные конфигурации сети кодируются в виде так называемой хромосомы. Варианты представления конфигурации сети подобным образом также

могут различаться. Так, в работах [4—6] хромосома представляет собой бинарную строку фиксированной длины, а в работе [7] хромосома — строка переменной длины, состоящая из целых чисел.

Целью данной статьи является разработка генетического алгоритма, результатом работы которого должна являться вычислительная сеть с оптимизированной топологией с минимальной суммарной длиной связей, обеспечивающей минимальную среднюю задержку и максимальную надежность при передаче информации от одного компьютера данной сети к другому.

### Постановка задачи

Допустим, имеется некоторый набор узлов сети. Каждому узлу присвоены декартовы координаты в пространстве и номер, начиная с 1. Пространство, в свою очередь, поделено на области с различными пропускными способностями связей между узлами. Рабочим станциям присваивается максимальный размер трафика, который они могут генерировать в единицу времени, а также максимальный размер трафика, который они могут обработать без дополнительной задержки. Задачей является создание графа, имеющего минимальный суммарный вес всех дуг, а также минимальную среднюю суммарную задержку. В то же время в графе не может быть неподсоединенных узлов. Веса дуг графа зависят от области, через которую проходят данные дуги, и определяются по формуле

$$W_{ij} = \sqrt{k_{11}^{(p)}(x_j - x_i)^2 + k_{12}^{(p)}(x_j - x_i)(y_j - y_i) + k_{22}^{(p)}(y_j - y_i)^2}, \quad (1)$$

где  $x_i, y_i, x_j, y_j$  — декартовы координаты  $i$ -го и  $j$ -го узлов соответственно;  $k_{11}^{(p)}, k_{12}^{(p)}, k_{22}^{(p)}$  — коэффициенты, соответствующие области, через которую проходит линия связи.

### Алгоритмизация оптимизации

В данном алгоритме, как видно из условий задачи, будут приниматься во внимание три фактора:

- стоимость построения сети, выраженная через суммарную длину связей;
- скорость передачи информации (средняя суммарная задержка передачи информации между узлами);
- надежность сети (средняя вероятность прохождения информации по сети без потерь).

Главной особенностью генетических алгоритмов является представление данных в виде хромосом и использование операторов скрещивания и мутации. Таким образом, одной из главных проблем при данной постановке задачи является выбор наиболее удобного для последующих операций представления данных. В данном случае одна хромосома будет представлять собой определенную конфигурацию сети.

При решении поставленной задачи в качестве хромосомы используется матрица смежности вида  $A = (a_{ij})$ , где элемент  $a_{ij}$  равен 1, если существует связь между  $i$ -м и  $j$ -м узлами, и 0 в противном случае. Так, конфигурация сети, состоящей из пяти узлов, может быть представлена следующим образом:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

В начале алгоритма осуществляется формирование начальной популяции. Начальная популяция формируется случайным образом, однако каждая хромосома из этой популяции должна удовлетворять нескольким ограничениям:

- узлы не могут соединяться сами с собой. Поэтому в матрице смежности все элементы на главной диагонали должны быть равны нулю;
- связи между узлами сети являются двунаправленными, т. е. элемент матрицы  $a_{ij}$  должен быть равен элементу  $a_{ji}$ . Таким образом, в матрице смежности можно учитывать только элементы выше главной диагонали.

Число хромосом в популяции, называемое размером популяции, задается перед стартом алгоритма и остается постоянным на всем протяжении работы алгоритма.

В целом предлагаемый алгоритм представляет собой последовательность итераций. Каждая итерация, называемая поколением, состоит из нескольких шагов:

1. Выборка хромосом для скрещивания.
2. Скрещивание.
3. Мутация хромосом, получившихся в результате скрещивания.
4. Отбор наиболее приспособленных хромосом в новую популяцию.

**Шаг 1.** Одним из определяющих факторов эффективности генетического алгоритма является способ выборки хромосом для скрещивания. При решении данной задачи с наилучшей стороны показал себя турнирный отбор хромосом, который проводится среди двух особей и устраивается дважды в течение одного поколения. Победители каждого из двух турниров скрещиваются между собой.

**Шаг 2.** Для решения данной задачи используется оператор однородного скрещивания. Пример использования данного оператора приведен на рис. 1.

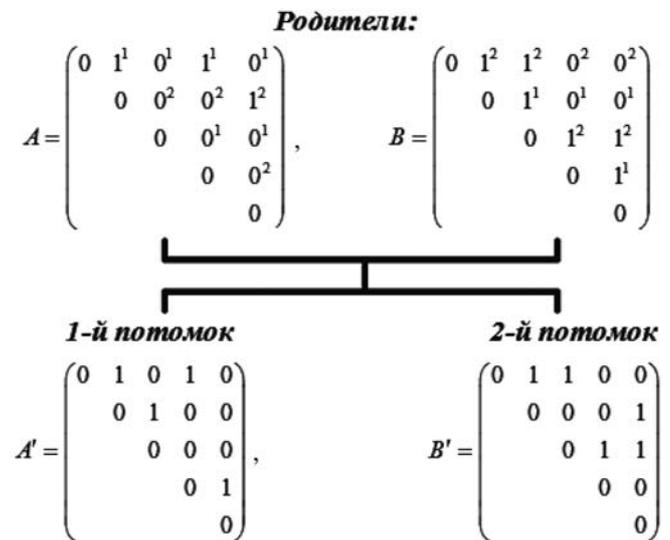


Рис. 1. Пример использования однородного скрещивания

Идея однородного скрещивания заключается в следующем: любой элемент (в данном случае элементом, или так называемым геном, является строка матрицы) каждого из пары потомков выбирается с некоторой вероятностью из первого или из второго родителя; если элемент для первого потомка был взят от второго родителя, то этот же по счету элемент второго потомка будет взят от первого родителя [8].

**Шаг 3.** Главной целью применения мутации в генетических алгоритмах является избегание преждевременной сходимости популяции к решению, не являющемуся достаточно хорошим. Обычно вероятность мутации хромосомы довольно мала и составляет несколько процентов [9]. При решении данной задачи наилучшие результаты были получены при вероятности  $P = \frac{1}{S}$ , где  $S$  — размер популяции.

Мутация хромосомы происходит по следующему сценарию: с некоторой вероятностью выбирается узел или несколько узлов и добавляются исходящие связи, либо удаляются произвольные связи, исходящие из этого узла. Пример использования оператора мутации приведен на рис. 2.

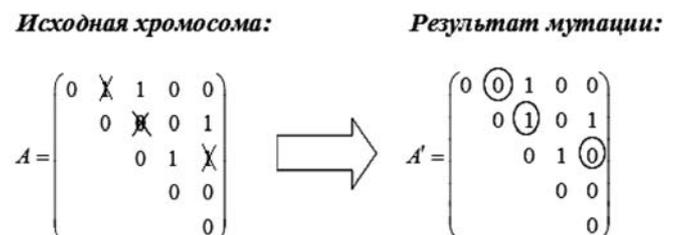


Рис. 2. Пример мутации хромосомы

**Шаг 4.** Решаемая задача является многокритериальной. В предлагаемом алгоритме применен один из классических методов решения подобных задач — метод взвешенной функции [10].

В данном генетическом алгоритме функция приспособленности  $F$  представляет собой сумму трех функций  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$  с различными весами:

$$F = k_1 F_1 + k_2 F_2 + k_3 F_3 + R, \quad (3)$$

где  $k_1, k_2, k_3$  — весовые коэффициенты, причем  $k_1 + k_2 + k_3 = 1$ ; функция  $F_1$  вычисляет сумму весов всех дуг графа;  $F_2$  вычисляет среднюю суммарную задержку при прохождении информации между двумя любыми вершинами графа;  $F_3$  вычисляет величину, обратную средней надежности передачи информации между двумя любыми узлами сети;  $R$  — штрафная функция,  $R = 0$ , если в сети нет неподключенных узлов.

Определим составляющие функции приспособленности (формулы (4)–(6)).

$$F_1 = \sum_{\tau_i \in \tau} W_{\tau_i}, \quad (4)$$

Исходные данные

| № узла | Координата X | Координата Y | Надежность | Задержка | Исходящий трафик | Входящий трафик |
|--------|--------------|--------------|------------|----------|------------------|-----------------|
| 1      | 937          | 721          | 0,89       | 18       | 30               | 44              |
| 2      | 196          | 644          | 0,80       | 71       | 7                | 52              |
| 3      | 662          | 110          | 0,83       | 96       | 2                | 73              |
| 4      | 942          | 71           | 0,81       | 4        | 96               | 82              |
| 5      | 261          | 806          | 0,89       | 5        | 58               | 14              |
| 6      | 958          | 602          | 0,93       | 22       | 47               | 60              |
| 7      | 778          | 487          | 0,93       | 12       | 44               | 30              |
| 8      | 722          | 668          | 0,82       | 85       | 96               | 28              |
| 9      | 639          | 119          | 0,80       | 1        | 33               | 56              |
| 10     | 93           | 760          | 0,80       | 51       | 50               | 92              |

где  $\tau$  — множество дуг графа;  $W_{\tau_i}$  — вес соответствующей дуги;

$$F_2 = \frac{\sum_{\Theta_i \in \Theta} D_{\Theta_i}}{N}, \quad (5)$$

где  $\Theta$  — множество минимальных путей между двумя любыми вершинами графа;  $D_{\Theta_i}$  — задержка передачи информации на пути  $\Theta_i$ ;  $N = |\Theta|$  — число минимальных путей;

$$F_3 = \left( \frac{\prod_{\Theta_i \in \Theta} T_{\Theta_i}}{N} \right)^{-1}, \quad (6)$$

где  $T_{\Theta_i}$  — коэффициент надежности передачи информации на пути  $\Theta_i$ .

#### Апробация метода

Вычисления проводились со следующими параметрами: размер популяции — 20, число поколений — 200, число узлов сети — 10. Штрафная функция  $R = 100\,000$  при наличии неподключенных узлов. Весовые коэффициенты  $k_1 = k_2 = 0,3$ ,  $k_3 = 0,4$ . Пространство поделено на три области с разными пропускными способностями. Коэффициенты для расчета весов дуг для этих областей следующие:

$$k_{11}^{(1)} = 1, k_{12}^{(1)} = 0, k_{22}^{(1)} = 1;$$

$$k_{11}^{(2)} = 2, k_{12}^{(2)} = 0, k_{22}^{(2)} = 2;$$

$$k_{11}^{(3)} = 0,5, k_{12}^{(3)} = 1, k_{22}^{(3)} = 0,5.$$

Осуществлялись три запуска программы, а затем брались средние значения результатов этих запусков. Исходные данные представлены в табл. 1. Результаты представлены в табл. 2.

На рис. 3 приведены графики зависимостей средней и лучшей приспособленностей популяции от числа поколений.

На рис. 4 представлена оптимизированная конфигурация сети, получившаяся в результате работы алгоритма. На данном рисунке изображено двумерное пространство, поделенное на три области с разной пропускной способностью. Окружностями обозначены

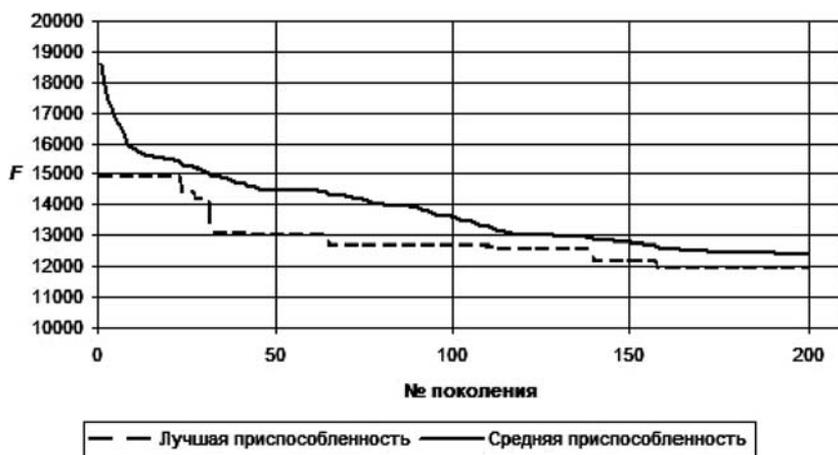


Рис. 3. Графики изменения лучшей и средней приспособленностей в зависимости от числа поколений

Таблица 2

## Результаты применения алгоритма

| Диапазон поколений, №№ | Изменение средней приспособленности, % | Изменение лучшей приспособленности, % |
|------------------------|--|---------------------------------------|
| 1...25                 | 17,85                                  | 3,24                                  |
| 26...50                | 5,11                                   | 9,77                                  |
| 51...75                | 2,31                                   | 2,74                                  |
| 76...100               | 3,96                                   | 0,00                                  |
| 101...125              | 4,04                                   | 0,94                                  |
| 126...150              | 1,74                                   | 2,82                                  |
| 151...175              | 2,38                                   | 2,01                                  |
| 176...200              | 0,18                                   | 0,00                                  |

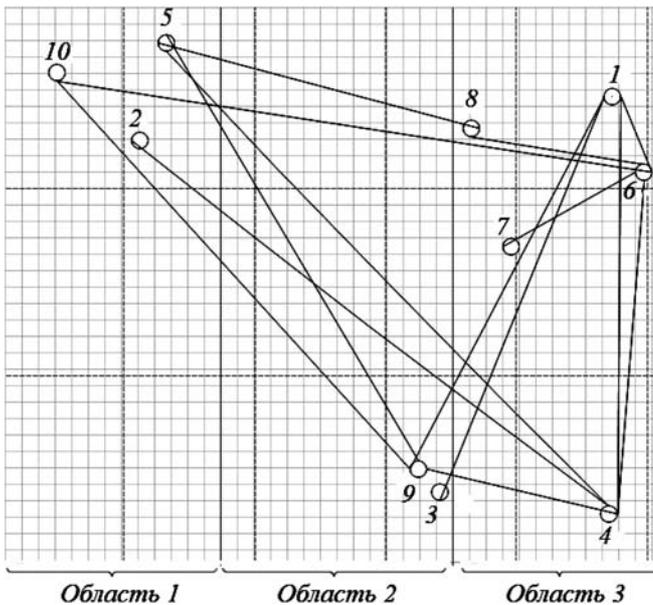


Рис. 4. Оптимизированная конфигурация сети

ны узлы сети, каждому из которых присвоен порядковый номер. Отрезками обозначены связи между узлами, найденные в результате работы алгоритма.

### Заключение

Из таблицы и из графиков можно сделать вывод о том, что значения как лучшей, так и средней

приспособленностей изменяются равномерно на протяжении большей части времени работы алгоритма. Сильное изменение средней приспособленности в начале работы алгоритма объясняется отсеиванием плохих решений, сформированных случайным образом на этапе создания начальной популяции. Основное изменение лучшей приспособленности наблюдается также в начале работы алгоритма. На конечном этапе изменений лучшей приспособленности не происходит. В целом алгоритм сходится к решению, близкому к искомому, достаточно быстро.

Таким образом, выявлено, что предложенный алгоритм может применяться для построения глобальных сетей с приемлемыми параметрами функционирования.

### Список литературы

1. Al-Rumaih A., Ejaz A. R., Bakry S. H., Al-Dhalaan A. A Methodology for network topology design with link and node failure tolerances // International Journal of Network Management. 1996. N 6 (1). P. 42–63.
2. Al-Bassam B., Alheraish A., and Bakry S. H. A tutorial on using genetic algorithms for the design of network topology // International Journal of Network Management. 2006. N 16 (4). P. 253–262.
3. Konak A. and Smith A. E. Designing resilient networks using a hybrid genetic algorithm approach — GECCO '05 // Proc. of the 2005 conference on Genetic and evolutionary computation. (New York, NY, USA). ACM Press. 2005. P. 1279–1285.
4. Гужва Д. Ю. Эволюционный синтез VPN-сетей в инфотелекоммуникационных системах // Вестник РГРТУ. 2009. № 1 (27). С. 22–27.
5. Kumar A., Pathak R., Gupta M., and Gupta Y. Genetic algorithm based approach for designing computer network topology // Proc. of the 1993 ACM Conference on Computer Science. 1993. P. 358–365.
6. Pierre S. and Legault G. A genetic algorithm for designing distributed computer network topologies // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Part B. 1998. N 28 (2). P. 249–258.
7. Dengiz B., Altıparmak F., and Smith A. Local Search Genetic Algorithm for Optimal Design of Reliable Networks // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 1997. N 1 (3). P. 179–188.
8. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы: учеб. пособие. 2-е изд. М.: Физматлит, 2006. 320 с.
9. Панченко Т. В. Генетические алгоритмы: учебно-метод. пособие / Под ред. Ю. Ю. Тарасевича. Астрахань: Издат. дом "Астраханский университет", 2007. 87 с.
10. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 452 с.

**С. А. Полицын**, аспирант,  
**В. В. Шилов**, канд. техн. наук, зав. кафедрой,  
 e-mail: pul\_forever@mail.ru,  
 МАТИ — Российский государственный  
 технологический университет  
 имени К. Э. Циолковского

## Математическая модель процесса выполнения задач при разработке программного обеспечения

*Оценка необходимых для реализации программных проектов времени и других ресурсов, как правило, получается с использованием плохо формализованных моделей, приближенно и с большой погрешностью. Предлагается математическая модель, предназначенная для решения задачи планирования ресурсозатрат в проектах, направленных на разработку программного обеспечения. Представлены методика прогнозирования процесса разработки программного обеспечения, а также метод, позволяющий с достаточной точностью вычислять вероятность завершения выполнения проекта в заданный срок.*

**Ключевые слова:** управление проектами, расчет временных затрат, срок окончания проекта, теория массового обслуживания, вероятность

### Введение

Для эффективного выполнения проекта, направленного на разработку программного обеспечения, особенно сложного, большое значение имеет процесс его планирования. Как правило, именно из-за ошибок в планировании программный продукт не выпускается в срок или работы по его созданию не укладываются в выделенный бюджет. Такое положение, с одной стороны, связано со сложностью задачи планирования и учета особенностей целевого продукта заказчиком, зависит от квалификации и других особенностей команды разработчика, от выделенных для выполнения проекта финансовых средств и других аналогичных факторов, а с другой — во многом определяется влиянием человеческого фактора.

Существующие методики планирования проектов предлагают различные подходы к построению процесса разработки программного обеспечения ("каскадный", итерационный, "гибкий"). Разработаны программные средства для ведения проектов в рамках той или иной методики (MS Project, Primavera Project Planner, Spider Project и т. д.) [5]. Их главным недостатком является то, что анализ влияния ошибок планирования преимущественно проводится лишь после завершения проекта. Однако современный процесс разработки очень динамичен, требования и набор задач часто меняются, по этой причине ошибка в планировании может при-

вести к значительной задержке в реализации проекта или к перерасходу средств. Существуют методы для предварительной оценки составленного плана проекта (PERT, СОСОМО) [6], но они требуют задания для проекта огромного числа характеристик и имеют большую погрешность.

С учетом отмеченных обстоятельств создание модели процесса разработки программного обеспечения является актуальной и практически значимой задачей. Ее решение позволит оперативно перестраивать план выполнения проекта и прогнозировать вероятность его успешного завершения [7].

### Команда разработки как система массового обслуживания

В рамках исследований, результаты которых представлены в настоящей статье, команду разработчиков в процессе создания программного обеспечения предлагается рассматривать как систему массового обслуживания (СМО), на вход которой поступает поток требующих решения задач, а на выходе образуется поток выполненных задач.

Поток задач, поступающий к исполнителям, подвергается предварительной обработке, в ходе которой определяется порядок выполнения задач в зависимости от их сложности, приоритетов и других факторов. Любая задача может быть декомпозирована на более мелкие задачи, вплоть до совокупности нескольких *единичных задач*, реализующих, например, отдельные методы (единичной будем считать задачу, которую один специалист может выполнить за один рабочий день). Далее формируется очередь единичных задач, которая в соответствии с "гибкими" подходами к ведению проектов (Agile) [6] разбивается на несколько *итераций*. Под итерацией понимается обособленный короткий этап выполнения проекта, в ходе которого создается завершенная версия программного продукта [8]. Критерием разбиения на итерации обычно служит или отведенное на итерацию время, или число составляющих ее задач. В общем случае весь проект может состоять из одной итерации.

Система массового обслуживания, представляющая команду разработки, содержит  $N$  каналов обслуживания, соответствующих  $N$  членам коллектива. Характер случайного процесса выполнения задач членами команды таков, что вероятность любого состояния системы в будущем зависит только от текущего состояния системы и не зависит от того, когда и каким образом система пришла в это состояние. С какой вероятностью и за какое время будут выполнены следующие задачи, не зависит от того, как были выполнены предыдущие. Исходя из этого моделируемый процесс можно считать марковским.

Прослеживается аналогия с решением некоторых известных задач теории массового обслуживания, на-

пример, моделирования отражения налета группы самолетов системой ПВО [1], высокоорганизованного боя и задачи о морской эскадре [2], т. е. задач, в основе решения которых лежит в некотором виде модель гибели и размножения или модель гибели. В отличие от описанных в литературе моделей, в случае прогнозирования процесса разработки программного обеспечения необходимо учитывать, во-первых, возможность одновременного завершения выполнения нескольких задач, во-вторых, необходимость выполнения командой разработчиков как минимум числа поставленных на итерацию задач (поскольку в случае, если все задачи текущей итерации выполнены досрочно, их набор может быть расширен).

Важно отметить, что использование предельного режима работы СМО, как при решении аналогичных задач в [2, 3], в данном случае неприемлемо, так как необходимо определить зависимость вероятностей выполнения заданного числа задач от времени, а не рассчитать стационарный режим работы СМО, совершив предельный переход при  $t$ , стремящемся к бесконечности, тем самым заменив систему дифференциальных уравнений системой линейных уравнений.

### Основные элементы и характеристики системы

Математическая модель процесса разработки программного обеспечения как модель любой системы массового обслуживания включает следующие основные элементы: поток поступающих сообщений, систему обслуживания и дисциплину обслуживания. При исследовании процесса выполнения командой задач в ходе разработки программного обеспечения были определены типичные характеристики обслуживания в зависимости от свойств входящего потока, параметров и структуры системы обслуживания и дисциплины обслуживания. В рассматриваемом случае в качестве основной характеристики системы принята вероятность успешного выполнения командой разработки всех поставленных задач за отведенное на итерацию время.

Поскольку команда разработки включает  $N$  членов коллектива, в начале работы над проектом интенсивность выполнения задач командой вычисляется по формуле

$$\lambda = \lambda_{a1} + \lambda_{a2} + \dots + \lambda_{aN},$$

где  $\lambda_{aj}$  — интенсивность выполнения задач  $j$ -м членом команды.

В ходе выполнения проекта и на основе данных о ранее выполненных проектах рассчитывается средняя интенсивность выполнения задач командой  $\lambda$ :

$$\lambda = k/t,$$

где  $k$  — число выполненных за время итерации задач;  $t$  — число дней в итерации.

Значение  $\lambda$  пересчитывается после завершения каждой итерации проекта и позволяет адаптировать систему к текущему состоянию команды разработ-

ки, отражать изменение числа и уровня подготовки специалистов. Этот параметр позволяет также учитывать индивидуальные профессиональные возможности специалистов. В случае появления нового члена команды средняя интенсивность выполнения задач командой может быть рассчитана по формуле

$$\lambda = (\lambda_{old} + \lambda_{newcomer}) / (N_{old} + 1),$$

где  $\lambda_{old}$  — текущая интенсивность выполнения задач командой;  $\lambda_{newcomer}$  — интенсивность труда нового члена команды;  $N_{old}$  — число разработчиков в проекте. На основе  $\lambda$  вычисляются  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$  — интенсивности переходов между состояниями в зависимости от числа членов команды.

Процесс разработки представляет собой СМО с ожиданием без потерь, а именно — все поставленные перед разработчиками задачи в итоге должны быть выполнены. Заявки обслуживаются в порядке очереди, составленной из исходных задач с учетом связей между ними, их сложности (времени выполнения) и приоритетов.

Главной характеристикой качества обслуживания в данном случае является вероятность выполнения за время итерации всех задач, запланированных на итерацию. Дополнительными характеристиками могут являться следующие:

- вероятность выполнения  $m$  задач в  $s$ -й день, где  $m$  — любое число задач из очереди,  $s$  — любой день в пределах сроков итерации или выходящий за них;
- оптимальное число задач за итерацию  $k_{opt}$  выбранное при заранее выбранной вероятности успешного выполнения итерации;
- оптимальное число дней для решения выбранного числа задач  $t_{iter\_opt}$  выбранное с учетом этой вероятности.

Основным инструментарием исследования является метод уравнений вероятностей состояний. В рассматриваемой СМО состояние характеризуется числом выполненных задач. При выполнении очередной задачи система меняет свое состояние. Интенсивности перехода из одного состояния в другое определяются средней интенсивностью выполнения задач командой и числом членов команды.

Так как команда разработчиков состоит из  $N$  специалистов, то если  $r$  специалистов выполнят свои задачи одновременно (т. е. в течение одного дня выполнят поставленные перед ними единичные задачи), система может перейти из текущего состояния  $S_k$  не только в состояние  $S_{k+1}$ , но и в любое из состояний  $S_{k+r}$ , где  $r \leq N$ . Как следствие, в данном случае необходимо рассматривать не только вероятности переходов между соседними состояниями ("выполнена только одна задача"), но и все вероятности возможных переходов в соседние состояния ("выполнены  $r$  задач"). Это позволяет построить размеченный граф состояний и составить систему уравнений, связывающих между собой вероятности соседних состояний.

В результате решения системы уравнений определяются функции зависимости вероятности нахождения системы в каждом состоянии от времени, позволяющие вычислить необходимые характеристики системы.

### Состояния системы

Для построения общего графа состояний системы сначала рассмотрим графы состояний для коллектива, состоящего из одного, двух, трех и  $N$  разработчиков. При этом СМО представляется динамической моделью, переходы между состояниями в которой определяются в зависимости от входных параметров.

Независимо от числа специалистов в команде система может находиться в одном из  $k + 1$  состояний:

$S_0$  — начало итерации (не выполнено ни одной задачи);

$S_1$  — выполнена одна задача;

$S_2$  — выполнены две задачи;

...

$S_k$  — выполнены  $k$  задач, т. е. все задачи, запланированные на итерацию;

$S_{k+1}$  — выполнена  $k + 1$  задача, т. е. все задачи, запланированные на итерацию, и еще одна помимо этого;

...

$S_K$  — выполнены  $K$  задач, где  $K$  — любое неотрицательное число, поскольку очередь задач не ограничена.

В начале итерации система находится в состоянии  $S_0$ . В любой момент времени каждый член команды может завершить выполнение задачи, над которой он работает, в этом случае система переходит в следующее за текущим состояние —  $S_{k+1}$ ; в противном случае система остается в текущем состоянии. При наличии в команде разработки двух, трех и более специалистов интенсивность переходов между соседними состояниями, т. е. выполнения командой одной задачи, равна средней интенсивности выполнения задач всей командой. Интенсивность переходов из состояния  $S_0$  в состояние

$S_2$ , а именно — выполнения командой двух задач,  $\lambda_2 = \lambda/2$ , аналогично и для перехода из состояния  $S_0$  в состояние  $S_3$  при наличии в команде трех специалистов,  $\lambda_3 = \lambda/3$ . Таким образом,  $\lambda_2$  для случая с двумя специалистами и  $\lambda_3$  для случая с тремя специалистами соответствуют средней интенсивности выполнения задач одним специалистом.

В общем случае для команды, состоящей из  $N$  специалистов, граф состояний имеет вид, представленный на рис. 1.

За время  $\Delta t$  система массового обслуживания в каждый момент времени может выполнить от 0 до  $N$  задач, где  $N$  — число специалистов в команде, а значит, перейти в одно из состояний — от  $S_i$ , в котором она находится, до  $S_{i+N}$ . При этом интенсивности  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$  будем рассчитывать по формуле  $\lambda_i = \lambda/i$ . В статье предлагается простейший метод, который, однако, показал достаточную точность на ряде исследованных проектов.

На основе графа состояний для всех случаев могут быть составлены уравнения вероятностей нахождения системы в каждом из состояний.

### Уравнения состояний системы

Исходя из графов состояний могут быть получены уравнения состояний. Для общего случая, когда команда разработки состоит из  $N$  специалистов (рис. 1), вероятность того, что система через время  $\Delta t$  будет находиться в состоянии  $S_0$ , определяется как вероятность отсутствия перехода в любое из состояний  $S_1, \dots, S_N$ . То есть вероятность нахождения системы через время  $\Delta t$  в состоянии  $S_1$  складывается из вероятности перехода из состояния  $S_0$  в состояние  $S_1$  и вероятности того, что система уже находилась в состоянии  $S_1$  и оно не изменилось:

$$p_1(t + \Delta t) = p_1(t)(1 - \lambda_1 \Delta t - \lambda_2 \Delta t - \dots - \lambda_N \Delta t) + p_0(t) \lambda_1 \Delta t;$$

$$p_2(t + \Delta t) = p_2(t)(1 - \lambda_1 \Delta t - \lambda_2 \Delta t - \dots - \lambda_N \Delta t) + p_1(t) \lambda_1 \Delta t + p_0(t) \lambda_2 \Delta t;$$

...

$$p_N(t + \Delta t) = p_N(t)(1 - \lambda_1 \Delta t - \lambda_2 \Delta t - \dots - \lambda_N \Delta t) + p_0(t) \lambda_N \Delta t + p_1(t) \lambda_{N-1} \Delta t + \dots + p_{N-1}(t) \lambda_1 \Delta t.$$

Система уравнений Колмогорова для общего случая имеет вид

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = -p_0(t)(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N); \\ \frac{dp_1(t)}{dt} = -p_1(t)(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N) + p_0(t) \lambda_1; \\ \frac{dp_2(t)}{dt} = -p_2(t)(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N) + p_1(t) \lambda_1 + p_0(t) \lambda_2; \\ \dots \\ \frac{dp_k(t)}{dt} = -p_k(t)(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N) + p_{k-N}(t) \lambda_N + p_1(t) \lambda_{k-N-1} + \dots + p_{k-1}(t) \lambda_1. \\ \dots \end{cases}$$

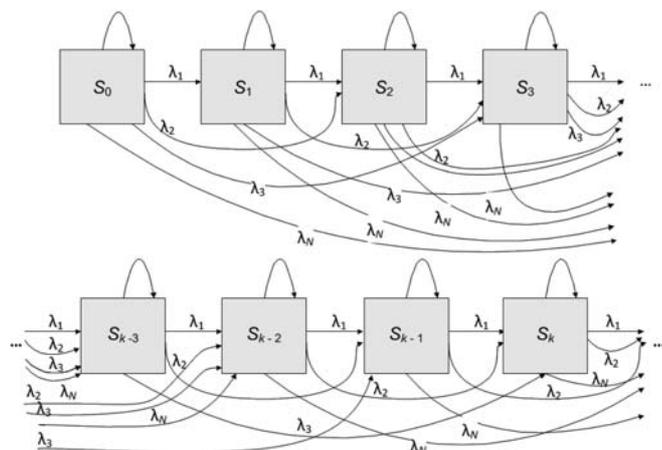


Рис. 1. Граф состояний системы с  $N$  специалистами

Приведя уравнения к общему виду, получаем систему уравнений Колмогорова для общего случая в зависимости от числа специалистов в команде разработки:

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = -p_0(t) \sum_{i=1}^N \lambda_i; \\ \dots \\ \frac{dp_k(t)}{dt} = -p_k(t) \sum_{i=1}^N \lambda_i + \sum_{i=1}^N p_{k-i}(t) \lambda_i. \end{cases}$$

### Функции вероятностей состояний системы

Решением системы уравнений Колмогорова являются функции зависимости вероятности нахождения системы в указанном состоянии от времени.

В сложных случаях для системы с большим числом специалистов в команде, а также в случае большого числа задач, отобранных на итерацию в общем случае для определения вероятностей нахождения системы в  $i$ -м состоянии целесообразно использовать численное решение системы уравнений Колмогорова.

После решения системы уравнений и определения вероятностей нахождения системы в заданный момент времени  $t$  в каждом из состояний, т. е. вероятностей решения командой нуля, одной, двух, трех, ...,  $N$  задач, необходимо определить вероятности выполнения не менее заданного числа задач в выбранный момент времени  $P_i(t)$  — именно это является результатом успешного завершения итерации или проекта. То есть

$$P_i(t) = P_i(t) + P_{i+1}(t) + P_{i+2}(t) + \dots$$

или

$$P_i(t) = 1 - \sum_{j=0}^{i-1} p_j(t).$$

Таким образом могут быть получены значения вероятностей для любого числа задач в любой мо-

мент времени и, соответственно, определена вероятность выполнения в срок всех  $N$  задач, запланированных на итерацию.

В случае неудовлетворительного прогноза могут быть предложены оптимальное число задач на итерацию для заданных параметров системы  $k_{opt}$  и оптимальное число дней для решения выбранного количества задач  $d_{opt}$ .

Пороговое значение для определения приемлемости плана на итерацию было задано равным 0,9. Если вероятность выполнения задач на итерацию в срок меньше этого значения, то может быть определено оптимальное число задач, при котором вероятность успешного завершения итерации будет не меньше порогового значения.

### Расчет вероятностей выполнения задач итерации

Рассмотрим пример построения модели СМО и расчетов ее характеристик. Пусть команда состоит из трех специалистов ( $N=3$ ), число задач итерации равно 6, длительность итерации составляет 3 дня и  $\lambda = 2$  задачи/день. Граф состояний для этого случая изображен на рис. 2.

Система уравнений Колмогорова, полученная на основе уравнений состояний системы, имеет вид

$$\begin{cases} p_0(t + \Delta t) = p_0(t)(1 - \lambda_1 \Delta t - \lambda_2 \Delta t - \lambda_3 \Delta t); \\ p_1(t + \Delta t) = p_1(t)(1 - \lambda_1 \Delta t - \lambda_2 \Delta t - \lambda_3 \Delta t) + p_0(t) \lambda_1 \Delta t; \\ p_2(t + \Delta t) = p_2(t)(1 - \lambda_1 \Delta t - \lambda_2 \Delta t - \lambda_3 \Delta t) + p_1(t) \lambda_1 \Delta t + p_0(t) \lambda_2 \Delta t; \\ p_3(t + \Delta t) = p_3(t)(1 - \lambda_1 \Delta t - \lambda_2 \Delta t - \lambda_3 \Delta t) + p_2(t) \lambda_1 \Delta t + p_1(t) \lambda_2 \Delta t + p_0(t) \lambda_3 \Delta t; \\ p_4(t + \Delta t) = p_4(t)(1 - \lambda_1 \Delta t - \lambda_2 \Delta t - \lambda_3 \Delta t) + p_3(t) \lambda_1 \Delta t + p_2(t) \lambda_2 \Delta t + p_1(t) \lambda_3 \Delta t; \\ p_5(t + \Delta t) = p_5(t)(1 - \lambda_1 \Delta t - \lambda_2 \Delta t - \lambda_3 \Delta t) + p_4(t) \lambda_1 \Delta t + p_3(t) \lambda_2 \Delta t + p_2(t) \lambda_3 \Delta t; \\ p_6(t + \Delta t) = p_6(t)(1 - \lambda_1 \Delta t - \lambda_2 \Delta t - \lambda_3 \Delta t) + p_5(t) \lambda_1 \Delta t + p_4(t) \lambda_2 \Delta t + p_3(t) \lambda_3 \Delta t. \end{cases}$$

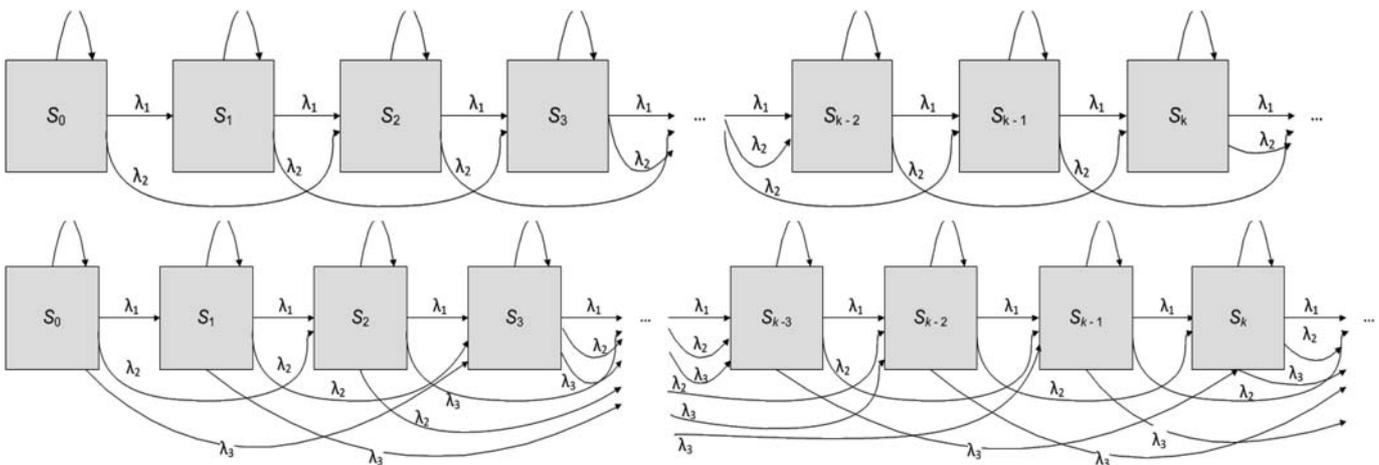


Рис. 2. Граф состояний системы с тремя специалистами

Преобразуя эту систему уравнений состояний СМО, получаем систему уравнений Колмогорова следующего вида:

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = p_0(t)(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3); \\ \frac{dp_1(t)}{dt} = p_1(t)(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) + p_0(t)\lambda_1; \\ \frac{dp_2(t)}{dt} = p_2(t)(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) + p_1(t)\lambda_1 + p_0(t)\lambda_2; \\ \frac{dp_3(t)}{dt} = p_3(t)(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) + p_2(t)\lambda_1 + p_1(t)\lambda_2 + p_0(t)\lambda_3; \\ \frac{dp_4(t)}{dt} = p_4(t)(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) + p_3(t)\lambda_1 + p_2(t)\lambda_2 + p_1(t)\lambda_3; \\ \frac{dp_5(t)}{dt} = p_5(t)(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) + p_4(t)\lambda_1 + p_3(t)\lambda_2 + p_2(t)\lambda_3; \\ \frac{dp_6(t)}{dt} = p_6(t)(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) + p_5(t)\lambda_1 + p_4(t)\lambda_2 + p_3(t)\lambda_3. \end{cases}$$

Определим интенсивности переходов при  $\lambda = 2$  и  $N = 3$ :  $\lambda_1 = 2/1 = 2$ ,  $\lambda_2 = 2/2 = 1$ ,  $\lambda_3 = 2/3 = 0,66$ .

Для определения вероятности выполнения  $k$  задач за время итерации  $d$  необходимо решить систему  $k + 1$  дифференциальных уравнений. Решая составленную систему уравнений методом Рунге—Кутты в среде Maple 16, получаем значения вероятностей нахождения системы в каждом из состояний, т. е. решения ровно заданного числа задач в каждый из дней итерации. Они приведены в табл. 1.

На основе полученных значений вероятностей нахождения системы в каждом состоянии рассчитываются вероятности выполнения не менее заданного числа задач в каждый из дней итерации. Результаты расчета приводятся в табл. 1.

Из представленных в табл. 2 данных видно, что вероятность выполнения в срок всех запланированных задач меньше порогового значения ( $0,8765 < 0,9$ ).

Таблица 1  
Результаты расчета вероятностей нахождения системы в каждом состоянии

| $t$ , дни | $p(t)$ |        |        |        |        |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|           | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| 1         | 0,1599 | 0,1599 | 0,1599 | 0,1599 | 0,1199 | 0,0879 | 0,0613 |
| 2         | 0,0256 | 0,0511 | 0,0767 | 0,1022 | 0,1150 | 0,1175 | 0,1115 |
| 3         | 0,0041 | 0,0123 | 0,0245 | 0,0409 | 0,0582 | 0,0742 | 0,0866 |
| 4         | 0,0007 | 0,2614 | 0,0065 | 0,0131 | 0,0222 | 0,0335 | 0,0458 |

Таблица 2  
Результаты расчета вероятностей выполнения итерации в срок

| $t$ , дни | $P(t)$ |        |        |        |        |               |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
|           | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6             |
| 1         | 0,6802 | 0,5203 | 0,3604 | 0,2405 | 0,1526 | 0,0931        |
| 2         | 0,9234 | 0,8467 | 0,7445 | 0,6295 | 0,5120 | 0,4005        |
| 3         | 0,9836 | 0,9591 | 0,9183 | 0,8600 | 0,7858 | 0,6992        |
| 4         | 0,9967 | 0,9902 | 0,9771 | 0,9549 | 0,9214 | <b>0,8756</b> |

Поэтому проводится расчет максимального числа задач, которые могут быть выполнены за отведенное на итерацию время с достаточной вероятностью.

На практике часто необходимо решить все поставленные выше задачи. Поэтому актуальной является задача получения прогноза, за какое время могут быть выполнены все поставленные задачи с удовлетворительной вероятностью.

Таким образом, для данной команды разработки выполнение всех поставленных задач на итерацию возможно с вероятностью 87,7 %, с достаточной вероятностью 91,8 % возможно выполнение трех задач за отведенное время итерации (3 дня) или выполнение всех поставленных задач за 5 дней с вероятностью 95,5 %.

## Заключение

В статье предложена математическая модель процесса разработки программного обеспечения как системы массового обслуживания, в которой специалисты выполняют задачи, поступающие на вход системы, а интенсивности переходов между состояниями рассчитываются на основе средней интенсивности выполнения задач командой и числа специалистов в команде. При этом средняя интенсивность выполнения задач командой определяется с учетом данных о ранее реализованных проектах и индивидуальных характеристик специалистов. Средняя интенсивность выполнения задач командой пересчитывается после каждой итерации и при каждом изменении состава команды, что позволяет динамически отражать производительность команды.

Предложенная модель позволяет в зависимости от числа членов команды автоматически изменять характеристики системы массового обслуживания и определять зависимости вероятностей выполнения заданного числа задач от времени, рассчитывать оптимальное число задач на итерацию, оптимальное число дней для решения выбранного числа задач. Все это дает возможность руководителю разработки до начала работы над проектом строить на существующих реалиях план его выполнения.

## Список литературы

1. **Вентцель Е. С., Овчаров Л. А.** Теория вероятностей и ее инженерные приложения. 2-е изд. М.: Высшая школа, 2000. 480 с.
2. **Бызов Л. Н.** Моделирование случайных процессов: учеб. пособие. СПб.: БГТУ им. Д. Ф. Устинова "Военмех", 1998. 125 с.
3. **Гнеденко Б. В.** Курс теории вероятностей. 8-е изд., испр. и доп. М.: Едиториал УРСС, 2005. 448 с.
4. **Самаров К. Л.** Элементы теории массового обслуживания. М.: Резольвента, 2009. 340 с.
5. **Кульгин Н. Б.** Управление проектами: инструментальные средства. СПб.: Политехника, 2002. 216 с.
6. **Алиев Х. Р.** Эффективная модель оценки разработки программного обеспечения // Исследовано в России. 2008. Т. 11. С. 338—364. URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2008/030.pdf>
7. **Полищын С. А.** Подходы к вычислению временных затрат на проекты в сфере разработки программного обеспечения на основе использования прецедентов // Программная инженерия, № 7. 2011. С. 9—15.
8. **Кон М.** Scrum: гибкая разработка ПО. М.: Вильямс, 2011. 576 с.

УДК 004.32

**В. А. Колосков**, д-р техн. наук, проф.,  
e-mail: v\_koloskov@mail.ru,

**Г. П. Колоскова**, канд. техн. наук, проф.,

**Д. В. Павлюченко**, аспирант,

**Динь Туан Лонг**, аспирант,

"МАТИ" — РГТУ имени К. Э. Циолковского

## Передача сообщений в реконфигурируемой отказоустойчивой многопроцессорной системе

*Представлен клеточный алгоритм маршрутизации отказоустойчивой многопроцессорной системы, использующий модель естественно-подобной среды для поиска оптимальных маршрутов передачи сообщений. Рассмотрены правила обработки локальных данных, обеспечивающие поиск маршрутов при перемещениях источника и приемника в условиях многократных отказов.*

**Ключевые слова:** многопроцессорные системы, отказоустойчивость, реконфигурация, клеточный алгоритм маршрутизации

### Введение

Многопроцессорные системы (МПС) являются эффективным средством реализации параллельных вычислений. Для обеспечения длительного функционирования без прерывания вычислений в условиях возникающих отказов процессорных элементов (ПЭ) система дополняется средствами автоматической замены неисправных элементов резервными. При этом средства замены должны быть адаптивными, приспособленными для реконфигурации системы при изменении размеров МПС, числа и расположения отказавших и резервных элементов, и сохраняющими масштабируемость МПС.

Авторами рассмотрен клеточный подход [1–3] к обеспечению и сохранению способности к реконфигурации и масштабируемости МПС с резервными элементами в условиях многочисленных отказов ПЭ. Цель достигается построением МПС на базе адаптивных самонастраивающихся многопрограммных процессорных элементов. Децентрализованная самонастройка элементов системы выполняется распределенной клеточной средой реконфигурации, приводящей к восстановлению логической

структуры МПС для произвольного числа и глобального расположения в сети отказавших и резервных узлов.

На этапе маршрутизации в реконфигурируемой МПС со статической топологией сети должна решаться задача обмена сообщениями между перемещающимися программными модулями по минимальным маршрутам с обходом отказавших ПЭ. При этом для сохранения масштабируемости системы необходим подход к маршрутизации в решетке произвольной размерности, не требующий сбора глобальных данных о расположении отказавших элементов и перемещенных приемников.

Большинство известных подходов к адаптивной маршрутизации [4] используют глобальные данные о состоянии сети, что требует трудоемкого сбора, хранения и дальнейшего использования данных от всех узлов. Известные методы маршрутизации, обрабатывающие локальные данные об отказах [5], ориентированы на распределение информации о структуре выпуклых отказавших областей между соседними узлами отказавших блоков. Применяемые в этих методах алгоритмы при ограничениях на структуру областей отказов носят эвристический характер и не всегда обеспечивают поиск минимальных маршрутов. При этом все известные алгоритмы используют глобальные обновленные данные о текущем расположении источников и приемников сообщений после перезагрузки системы, выполняемой по результатам реконфигурации.

Предлагаемый авторами подход не требует сохранения измененных при реконфигурации данных о расположении программного модуля и впервые использует качественно новую, распределенную по всем узлам локальную информацию, обеспечивающую возможность реконфигурации и оптимального достижения приемника из любого узла при возможных перемещениях программных модулей. В настоящей работе авторами предлагается распределенный, децентрализованный алгоритм маршрутизации, основанный на клеточной обработке минимальных локальных данных, которые не зависят от размеров МПС, числа и глобального расположения в сети отказавших и резервных узлов.

В работе рассмотрена структура отказоустойчивой МПС, механизм и клеточные функции получения решений по маршрутизации на базе естественно-подобной вычислительной среды. Представлены примеры реализации клеточных функций для заданных вариантов размещения отказавших и резерв-

ных узлов. Применение результатов реконфигурации в алгоритме отказоустойчивой маршрутизации позволило рассматривать клеточные среды реконфигурации и маршрутизации как взаимосвязанные средства обеспечения отказоустойчивости МПС.

### 1. Структура реконфигурируемой МПС и механизм клеточной маршрутизации

Рассматривается структура отказоустойчивой МПС в виде ортогональной решетки с замкнутыми по вертикали и горизонтали границами. Каждый  $(i, j)$ -й узел решетки соответствует ПЭ, выполняющему функции основного или резервного элемента. Процессор  $(i, j)$  является самоконтролируемым, многопрограммным и настраиваемым элементом, хранящим в памяти копии программ смежных соседей с номерами  $(i - 1, j)$ ,  $(i + 1, j)$ ,  $(i, j - 1)$ ,  $(i, j + 1)$ . Процесс реконфигурации инициируется отказавшим элементом, который замещается одним из соседних узлов. Охваченный реконфигурацией ПЭ замещается одним из своих соседей, пока не будет достигнут ближайший резервный элемент. Хранение в ПЭ копий программных модулей соседних элементов позволяет оперативно без задержек на перезагрузку программных модулей в реконфигурируемой МПС восстанавливать функции элементов. Замещение отказавшего или захваченного элемента заключается в активизации его логического адреса у соседнего элемента до наступления следующей реконфигурации. Перечисленные функции реализуются клеточной средой реконфигурации МПС [6].

На рис. 1 для заданного варианта расположения отказавших и резервных элементов в МПС (рис. 1, а)

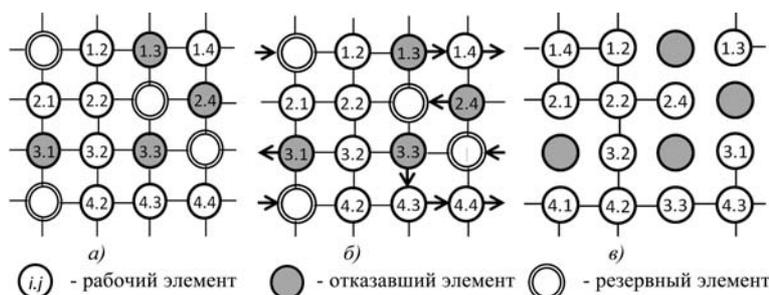


Рис. 1. Результат реконфигурации резервированной МПС

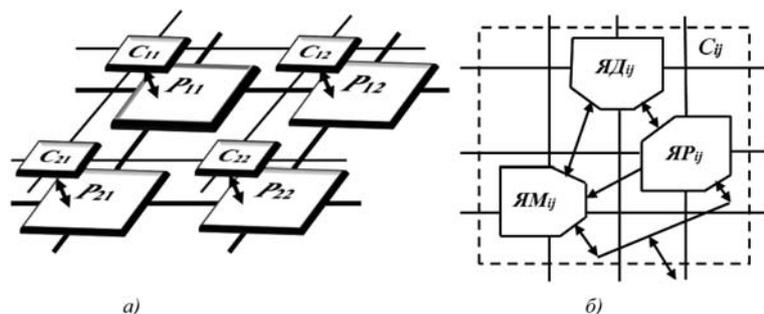


Рис. 2. Структура реконфигурируемой МПС (а) и элемента клеточной среды (б)

представлены непересекающиеся маршруты реконфигурации (рис. 1, б) и результат перенастройки ПЭ маршрутов (рис. 1, в) на новые логические адреса. Маршруты реконфигурации, полученные в соответствии с клеточным алгоритмом, определяют множество перенастраиваемых ПЭ. Каждая последующая реконфигурация предполагает изменение состава перенастраиваемых на новые логические адреса ПЭ в соответствии с текущей отказовой ситуацией.

Передача сообщений в реконфигурируемой МПС должна выполняться в условиях виртуальных перемещений программных модулей источников и приемников сообщений в процессе восстановления. Предлагаемый в работе механизм маршрутизации базируется на клеточном поиске нового расположения перемещенных абонентов на основании локальной информации о результатах реконфигурации. Информация об оптимальной достижимости приемника для любого узла формируется автоматически клеточным путем на основании простой обработки минимальных данных о состоянии только смежных соседей.

Клеточная среда маршрутизации, как и среда реконфигурации, распределяется в решеточной структуре МПС (рис. 2, а). При этом каждый ПЭ  $(P_{ij})$  с резервными копиями программных модулей соседних элементов имеет собственный элемент управления реконфигурацией и маршрутизацией  $(C_{ij})$  (рис. 2, б), включающий ячейку реконфигурации  $(ЯР_{ij})$ , ячейку маршрутизации  $(ЯМ_{ij})$  и ячейку достижимости  $(ЯД_{ij})$ . Ячейка  $ЯР_{ij}$  управляет настройкой процессоров МПС в режиме реконфигурации. Ячейка  $ЯМ_{ij}$  обеспечивает поиск приемника сообщения и выбор направления маршрута для каждого промежуточного узла. Элемент  $ЯД_{ij}$  используется как при реконфигурации, так и при маршрутизации и формирует данные об удаленности узла  $(i, j)$  до приемника либо до резервного элемента в зависимости от решаемой задачи.

В настоящей работе для клеточного вычисления маршрутов передачи сообщений применена управляемая токопроводящая решетка (ТПР), обеспечивающая получение непрерывных значений характеристик длин маршрутов.

В режиме маршрутизации выполняется настройка узлов (рис. 3) токопроводящей среды: узел источника  $x_i^{ij}$  подключается к потенциалу  $E$ ; на узле приемника  $x_p^{ij}$  фиксируется нулевой потенциал; связи отказавших узлов  $(x_o^{ij})$  с соседними узлами разрываются. При этом закономерности функционирования ТПР [6] позволяют получать значения токов  $I_k^{ij}$  и потенциалов  $\phi_k^{ij}$  на  $k = \overline{1, 4}$  выходах всех узлов и по ним определять направления минимальной удаленности узла с потенциалом  $E$  (источника) от узла с нуле-

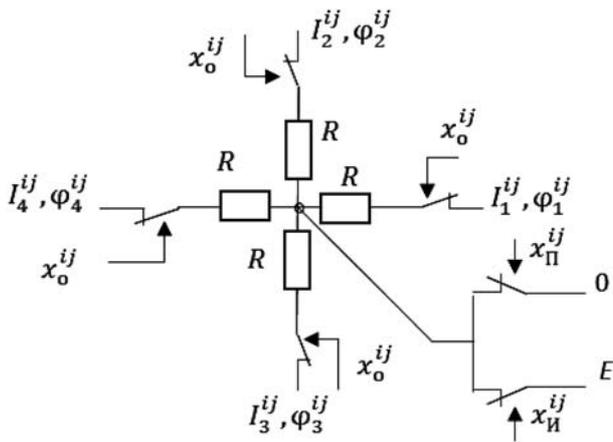


Рис. 3. Узел токопроводящей решетки

вым потенциалом (приемника), которые всегда совпадают с направлениями максимальных вытекающих из узлов токов.

Формирование канала передачи сообщения в реконфигурированной системе является результатом ответной реакции клеточной среды на возникающие запросы на маршрутизацию. Реакция клеточной среды заключается в получении в ней устойчивой структуры. Маршрут максимального тока в токопроводящей решетке указывает на направление передачи сообщения при маршрутизации в реконфигурированной системе с отказавшими элементами. В результате снимаемая с узлов ТПР информация позволяет маршрутизаторам установить связи с соседями в канале передачи данных с обходом отказавших элементов.

## 2. Клеточный алгоритм адаптивной маршрутизации

Поиск оптимальных маршрутов передачи сообщений в реконфигурированной структуре с произвольными комбинациями отказавших узлов должен учитывать возможность изменения физического расположения источника и/или приемника сообщения. В итоге маршрутизатор на основе результатов реконфигурации решает следующие задачи:

1. Коррекции смещений координат расположения приемника, заданных в формате сообщения, по результатам реконфигурации.

2. Поиска первоначального расположения приемника.

3. Определения позиции приемника по результатам реконфигурации.

4. Определения кратчайшего маршрута от источника до приемника в структуре с отказавшими элементами.

Клеточный алгоритм адаптивной маршрутизации представляется системой параллельных операций  $\Theta = \{\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, \Theta_4, \Theta_5, \Theta_6, \Theta_7\}$ , где операции  $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$  обеспечивают поиск приемника в МПС с перемещающимися источником и приемником;

$\Theta_4, \Theta_5$  моделируют процесс получения устойчивых значений токов и потенциалов в управляемой токопроводящей решетке;  $\Theta_6$  формирует маршрут передачи сообщения;  $\Theta_7$  организует канал передачи сообщения от источника к приемнику.

Слово состояния  $S_{ij}$  клетки среды маршрутизации определяется значениями переменных

$$S_{ij} = \{x_o^{ij}, x_{И}^{ij}, x_{П}^{ij}, \Delta x^{ij}, \Delta y^{ij}, \Phi^{ij}, I^{ij}, M^{ij}, N^{ij}\},$$

где  $x_o^{ij} \in \{1, 0\}$  — отказ/работоспособность узла  $(i, j)$ ;

$x_{П}^{ij}, x_{И}^{ij} \in \{1, 0\}$  — переменные принадлежности узла  $(i, j)$  к приемнику или источнику сообщения соответственно;  $\Delta x^{ij} \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$ ,  $\Delta y^{ij} \in \{0, 1, 2, \dots, m\}$  — значения отклонений по осям  $X, Y$  от узла  $(i, j)$

до приемника;  $\Phi^{ij} = \{\phi_k^{ij}\}$  — множество значений потенциалов узла  $(i, j)$  на выходах  $k \in (1, 2, 3, 4)$ ;

$I^{ij} = \{I_k^{ij}\}$  — значения токов узла  $(i, j)$  по направлениям  $k = \overline{1, 4}$ ;

$M^{ij} = \{M_k^{ij}\}$  — наличие/отсутствие маршрута реконфигурации в узел  $(i, j)$  с направления  $k \in (1, 2, 3, 4)$ ;

$N^{ij} = \{N_k^{ij}\}$  — переменные выбора направлений передачи сообщения из узла  $(i, j)$ .

Направления приема сообщения в узел  $(i, j)$  обозначаются как  $N^{pq} = \{N_s^{pq}\}$ , где  $(p, q) \in \{(i, j - 1), (i + 1, j), (i - 1, j), (i, j + 1)\}$ ,  $s \in (1, 2, 3, 4)$ .

Рассмотрим правила выполнения клеточных операций среды маршрутизации.

### Коррекция смещений координат расположения приемника

В формате сообщения для поиска приемника вводятся переменные смещения координат источника  $(i_1, j_1)$  относительно координат приемника  $(i_2, j_2)$  по осям абсцисс  $(\Delta x^{ij})$  и ординат  $(\Delta y^{ij})$  при движении от источника слева направо и сверху вниз. Исходные значения  $\Delta x^{ij}, \Delta y^{ij}$  в формате сообщения вычисляются по формулам

$$\Delta x^{ij} = \begin{cases} n - |j_2 - j_1|, & \text{если } j_2 < j_1; \\ j_2 - j_1, & \text{если } j_2 \geq j_1; \end{cases} \quad (1)$$

$$\Delta y^{ij} = \begin{cases} m - |i_2 - i_1|, & \text{если } i_2 < i_1; \\ i_2 - i_1, & \text{если } i_2 \geq i_1, \end{cases}$$

где  $m, n$  — число строк и столбцов решетки МПС.

Так, если в реконфигурированной структуре требуется передать данные от ПМ с логическим адресом  $(3,1)$  к программному модулю с адресом  $(2,4)$ , то значения смещений координат в соответствии с формулой (1) будут равны  $\Delta x^{3,1} = 3$ ,  $\Delta y^{3,1} = 3$  ( $m = n = 4$ ).

Из-за возможных перемещений физического расположения источника введена клеточная операция  $\Theta_1$  коррекции смещений:

$$\Theta_1: \begin{cases} \Delta x^{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } (\Delta x^{ij} = n - 1) \wedge (M_1^{i,j} = 1); \\ \Delta x^{ij} - 1, & \text{если } (M_4^{i,j} = 1) \wedge (\Delta x^{ij} \neq 0); \\ \Delta x^{ij} + 1, & \text{если } (M_1^{i,j} = 1) \wedge (\Delta x^{ij} \neq n - 1); \\ n - 1, & \text{если } (\Delta x^{ij} = 0) \wedge (M_4^{i,j} = 1); \\ \Delta x^{ij}, & \text{если иначе;} \end{cases} \\ \Delta y^{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } (\Delta y^{ij} = m - 1) \wedge (M_3^{i,j} = 1); \\ \Delta y^{ij} - 1, & \text{если } (M_2^{i,j} = 1) \wedge (\Delta y^{ij} \neq 0); \\ \Delta y^{ij} + 1, & \text{если } (M_3^{i,j} = 1) \wedge (\Delta y^{ij} \neq m - 1); \\ m - 1, & \text{если } (\Delta y^{ij} = 0) \wedge (M_3^{i,j} = 1); \\ \Delta y^{ij}, & \text{если иначе.} \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

Если узел источника  $(i, j)$  был вовлечен в волну реконфигурации, то единичные значения переменных  $M_4^{i,j}$ ,  $M_1^{i,j}$  показывают, что до реконфигурации программный модуль источника располагался слева или справа от узла  $(i, j)$  соответственно, либо сверху (при  $M_2^{i,j} = 1$ ) или снизу (при  $M_3^{i,j} = 1$ ) от него.

Так, итоговые значения переменных  $M_1^{i,j}$ ,  $M_2^{i,j}$ ,  $M_3^{i,j}$ ,  $M_4^{i,j}$  клеточного массива (рис. 4), вычисленные

|   | 1         | 2    | 3         | 4         |
|---|-----------|------|-----------|-----------|
| 1 | 0001<br>→ | 0000 | 0000      | 0001<br>→ |
| 2 | 0000      | 0000 | 1000<br>← | 0000      |
| 3 | 0000      | 0000 | 0000      | 1000<br>← |
| 4 | 0001<br>→ | 0000 | 0100<br>↓ | 0001<br>→ |

→ - направление входной дуги маршрута реконфигурации  
 ■ - отказавший элемент  
 □ - перенастроенные резервные элементы

Рис. 4. Состояния переменных  $\{M_k^{ij}\}$  реконфигурации

| J=4 |   | J=4 |   | J=4 |   | J=4 |
|-----|---|-----|---|-----|---|-----|
| 4,4 | → | 4,4 | → | 0,1 | → | 0,1 |
| 4,4 |   | 4,4 |   | 4,4 |   | 0,0 |
| 0,3 |   | 0,3 |   | 0,3 |   | 0,3 |
| 4,4 |   | 0,2 |   | 0,2 |   | 0,2 |

Рис. 5. Эволюция переменных  $\Delta x^{ij}$ ,  $\Delta y^{ij}$  при поиске приемника

на этапе реконфигурации, отражают все виртуальные перемещения программных модулей структуры МПС (см. рис. 1) на маршрутах восстановления. Поскольку в результате реконфигурации источник переместился из позиции (3,1) в позицию (3,4), то первоначальные значения смещений  $\Delta x^{3,4} = \Delta x^{3,1} = 3$  и  $\Delta y^{3,4} = \Delta y^{3,1} = 3$  корректируются в соответствии с формулой (2) и получают значения  $\Delta x^{3,4} = 0$ , так как  $(\Delta x^{3,4} = 3) \wedge (M_1^{3,4} = 1)$  и  $\Delta y^{3,4} = \Delta y^{3,4}$ , так как  $M_2^{3,4} = M_3^{3,4} = 0$ .

### Поиск первоначального расположения приемника

Позиция первоначального расположения приемника соответствует его физическому размещению до реконфигурации и определяется клеточной операцией  $\Theta_2$  поиска узла с нулевыми значениями смещений  $\Delta x^{ij}$ ,  $\Delta y^{ij}$ :

$$\Theta_2: \begin{cases} \Delta x^{ij} = \begin{cases} \Delta x_{ij}^{ij}, & \text{если } x_{ij}^{ij} = 1; \\ \Delta x^{i,j-1} - 1, & \text{если } (\Delta x^{i,j-1} \neq n) \vee (\Delta x^{i,j-1} \neq 0); \\ 0, & \text{если } (\Delta x^{i-1,j} = 0); \\ n, & \text{если } (\Delta x^{i,j-1} = 0) \wedge (x_{ij}^{ij} = 0); \\ \Delta x^{ij}, & \text{если иначе;} \end{cases} \\ \Delta y^{ij} = \begin{cases} \Delta y_{ij}^{ij}, & \text{если } x_{ij}^{ij} = 1; \\ \Delta y^{i-1,j} - 1, & \text{если } (\Delta y^{i-1,j} \neq m) \vee (\Delta y^{i-1,j} \neq 0); \\ 0, & \text{если } (\Delta y^{i,j-1} = 0); \\ m, & \text{если } (\Delta y^{i-1,j} = 0) \wedge (x_{ij}^{ij} = 0); \\ \Delta y^{ij}, & \text{если иначе.} \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

Поиск осуществляется клеточной обработкой переменной  $\Delta x^{ij}$  в  $i$ -й строке (движение слева направо) и переменной  $\Delta y^{ij}$  в столбце со значением  $\Delta x^{ij} = 0$  (движение сверху вниз).

Для рассматриваемого примера (рис. 4) первоначальные значения клеточных переменных  $\Delta x^{ij}$ ,  $\Delta y^{ij}$  для всех позиций, кроме позиции источника, равны  $\Delta x^{3,4} = \Delta y^{3,4} = 4$  (при  $m = n = 4$ ). Эволюция значений приращений  $\Delta x^{ij}$ ,  $\Delta y^{ij}$  для клеток столбца  $j = 4$  показана на рис. 5. Позиция  $(i, j)$  со значениями  $(\Delta x^{ij}, \Delta y^{ij}) = (0, 0)$  соответствует первоначальному расположению приемника, которое изменяется только при попадании узла  $(i, j)$  на маршрут восстановления при реконфигурации.

### Определение позиции приемника по результатам реконфигурации

После реконфигурации приемник может находиться в позиции  $(i, j)$  в двух случаях. Так, если при нулевых смещениях  $(\Delta x^{ij}, \Delta y^{ij}) = (0, 0)$  программ-

ный модуль  $(i, j)$  не участвовал в реконфигурации, то  $(i, j)$  — реальная позиция приемника. Кроме того, приемник может находиться в узле  $(i, j)$  в результате его перемещения ( $M_k^{ij} = 1$ ) из соседней позиции  $(p, q) \in \{(i, j - 1), (i + 1, j), (i - 1, j), (i, j + 1)\}$ , для которой  $(\Delta x^{pq}, \Delta y^{pq}) = (0, 0)$ . На участие в реконфигурации любого узла указывает единичное значение переменной  $M_k^{ij}$ . Клеточная функция операции  $\Theta_3$  определения реальной позиции приемника в реконфигурированной структуре имеет вид

$$\Theta_3: x_{\Pi}^{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } ((\Delta x^{ij}, \Delta y^{ij}) = (0, 0)) \wedge \\ \wedge \left( \bigvee_{k=1}^4 M_k^{ij} = 0 \right) \wedge \bigvee_{k=1}^4 ((\Delta x^{pq}, \Delta y^{pq}) = \\ = (0, 0)) \wedge (M_k^{ij} = 1) = 1; \\ 0, & \text{если иначе,} \end{cases} \quad (4)$$

где  $(p, q) \in \{(i, j - 1), (i + 1, j), (i - 1, j), (i, j + 1)\}$ .

В соответствии с правилами операции  $\Theta_3$  реальная позиция приемника сообщения при известных  $\{M_k^{ij}\}$  и  $\{\Delta x^{ij}, \Delta y^{ij}\}$  (см. рис. 4, 5) будет равна  $(x_{\Pi}^{2,3} = 1)$ , так как  $((\Delta x^{2,4}, \Delta y^{2,4}) = (0, 0)) \wedge (M_1^{2,3} = 1)$ . После локализации реальной позиции приемника сообщения узел  $(2, 3)$  ТПР получит нулевой потенциал (операция  $\Theta_4$ ).

### Определение кратчайших маршрутов передачи сообщений

Для вычисления минимального маршрута передачи сообщения используется клеточная естественно-подобная токопроводящая среда с соответствующей настройкой переменных. Для текущего варианта реального расположения источника и приемника сообщения и отказавших узлов устойчивые значения потенциалов  $\{I_k^{ij}\}$  и токов  $\{N_k^{ij}\}$  по на-

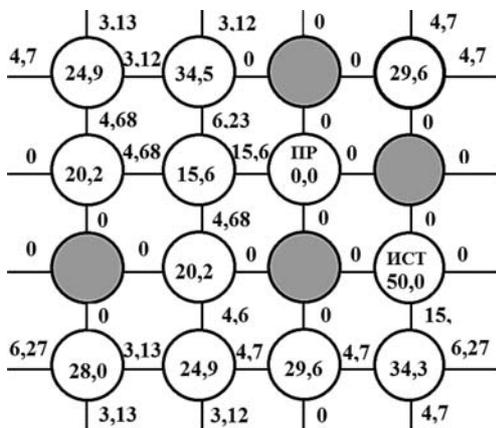


Рис. 6. Пример распределения токов и потенциалов в решетке с отказами

правлениям связей ( $k = \overline{1, 4}$ ) всех узлов  $(i, j)$  ТПР определяются с помощью операций  $\Theta_4, \Theta_5$ :

$$\Theta_4: \varphi_k^{ij} = \begin{cases} \varphi_{\Pi}, & \text{если } x_o^{ij} \vee \bar{x}_o^{ij} \wedge \bar{x}_{\Pi}^{ij} \wedge \bigwedge_s (\varphi_{5-s}^{pq} = \varphi_{\Pi}) = 1; \\ E, & \text{если } x_{\Pi}^{ij} \wedge \bar{x}_o^{ij} = 1; \\ 0, & \text{если } x_{\Pi}^{ij} \wedge \bar{x}_o^{ij} = 1; \\ \sum_{s=1}^4 (\varphi_{5-s}^{pq} * (\varphi_{5-s}^{pq} \neq \varphi_{\Pi})) / \sum_{s=1}^4 (\varphi_{5-s}^{pq} \neq \varphi_{\Pi}), & \text{если иначе;} \end{cases} \quad (5)$$

$$\Theta_5: I_k^{ij} = \begin{cases} \varphi_k^{ij} - \varphi_{5-k}^{pq}, & \text{если } \bar{x}_o^{ij} \wedge (\varphi_{5-k}^{pq} \neq \varphi_{\Pi}); \\ 0, & \text{если иначе,} \end{cases} \quad (6)$$

где  $\varphi_{\Pi}$  — состояние разрыва связи с соседним узлом.

Процесс образования потенциалов и токов заканчивается после получения значений, удовлетворяющих условию:  $\forall (i, j): \varphi_k^{ij}(t + 1) - \varphi_k^{ij}(t) \leq \Delta$ , где  $\Delta$  — заданная погрешность вычислений.

При расположении источника в позиции  $(3, 4)$  и приемника в позиции  $(2, 3)$  к узлам  $(3, 4)$  и  $(2, 3)$  ТПР подключаются потенциалы 50,0 и 0,0 соответственно. Задаваемые в модели ТПС значения  $E$  и  $\Delta$  могут изменяться в широких пределах. Для простоты иллюстрации выбраны значения  $E = 50$  и  $\Delta = 0,01$ . Значения токов и потенциалов, полученные в модели ТПР по правилам (5) и (6) для фиксированной комбинации отказов и вычисленной по правилу (4) позиции приемника, приведены на рис. 6.

Установившиеся значения переменных токов и потенциалов описывают состояние токопроводящей среды, на базе которой вычисляется минимальный маршрут передачи сообщения от источника к приемнику в условиях отказов. Направления исходящих из узлов  $(i, j)$  дуг маршрута к узлу-приемнику определяются с помощью операции  $\Theta_6$ :

$$\Theta_6: N_k^{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } (I_k^{ij} = \max_{s=\overline{1,4}} \{I_s^{ij}\}) \wedge (I_k^{ij} > 0) \wedge \\ \wedge \left( x_{\Pi}^{ij} \vee \bar{x}_{\Pi}^{ij} \wedge \left( \bigvee_{s=1}^4 N_{5-s}^{pq} \right) \right) = 1; \\ 0, & \text{если иначе.} \end{cases} \quad (7)$$

По установившемуся состоянию ТПР (рис. 6) в соответствии с операцией  $\Theta_6$  получены значения переменных  $\{N_k^{ij}\}$  (рис. 7).

Единичное значение  $N_k^{ij}$  определяет выходное направление передаваемого из позиции  $(i, j)$  сообщения. Полученные значения переменных  $\{N_k^{ij}\}$  обеспечивают управление коммутацией каналов маршрутизатора для каждого узла при передаче сообщения по найденному маршруту (операция  $\Theta_7$ ).

Настройка коммутационных элементов процессоров при формировании канала передачи вы-

полняется замыканием определенных входов  $\{s\}$  ( $y1_s^{ij} = 1$ ) с выходами  $\{k\}$  ( $y2_k^{ij} = 1$ ):

$$\Theta_7: \begin{cases} y1_s^{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } N_{5-s}^{pq} = 1; \\ 0, & \text{если иначе;} \end{cases} \\ y2_k^{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } N_k^{ij} = 1; \\ 0, & \text{если иначе;} \end{cases} \end{cases} \quad (8)$$

где  $y1_s^{ij}$ ,  $y2_k^{ij}$  — управление замыканием  $s$ -го входа и  $i$ -го выхода коммутационного элемента  $(i, j)$ -го процессора;  $(s, k) \in (1, 2, 3, 4)$  — направления приема и передачи сообщения.

Для полученных значений переменных  $\{N_k^{ij}\}$  (см. рис. 7) канал передачи сообщения от источника в позиции (3,4) к приемнику в позиции (2,3) обеспечивается замыканием входов ( $y1_s^{ij}$ ) с выходами ( $y2_k^{ij}$ ) коммутационных элементов ПЭ маршрута. В клеточном массиве на рис. 8 для узлов  $\{i, j\}$  ( $i = \overline{1, 4}, j = \overline{1, 4}$ ) представлены значения переменных ( $y1_1^{ij}$ ,  $y1_2^{ij}$ ,  $y1_3^{ij}$ ,  $y1_4^{ij}$ ) и ( $y2_1^{ij}$ ,  $y2_2^{ij}$ ,  $y2_3^{ij}$ ,  $y2_4^{ij}$ ), вычисленные по правилам (8).

|   | 1         | 2         | 3         | 4           |
|---|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 1 | 0010 ↓    | 0000      | 0000      | 0000        |
| 2 | 1000<br>→ | 1000<br>→ | 0000<br>П | 0000        |
| 3 | 0000      | 0000      | 0000      | 0010<br>И ↓ |
| 4 | 0010 ↓    | 0000      | 0000      | 1000<br>→   |

→ - направление выходной дуги маршрута передачи сообщения; П, И — приемник, источник

Рис. 7. Значения переменных  $\{N_k^{ij}\}$  маршрутизации

|   | 1            | 2            | 3              | 4              |
|---|--------------|--------------|----------------|----------------|
| 1 | 0100<br>0010 | 0000<br>0000 | 0000<br>0000   | 0000<br>0000   |
| 2 | 0100<br>1000 | 0001<br>1000 | 1000<br>0000 П | 0000<br>0000   |
| 3 | 0000<br>0000 | 0000<br>0000 | 0000<br>0000   | 0000<br>0010 И |
| 4 | 0001<br>0010 | 0000<br>0000 | 0000<br>0000   | 0100<br>1000   |

Рис. 8. Значения переменных  $\{y1_s^{ij}, y2_k^{ij}\}$  управления коммутацией

Алгоритм маршрутизации обеспечивает построение минимального маршрута передачи сообщения в условиях перемещений абонентов и включает следующие этапы:

1. Инициализация клеточных переменных и настройка среды маршрутизации:  $\forall (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n})$   $x_o^{ij} \in \{1, 0\}$  — отказ/работоспособность узла  $(i, j)$ ;  $x_{и}^{ij} = 1$  для источника;  $x_{п}^{ij}, \Phi^{ij}, I^{ij}$  — устанавливаются в нулевые значения;  $M^{ij}$  — вычисленные при реконфигурации направления маршрутов восстановления; связи ТПР для позиций отказавших узлов размыкаются.
2. Коррекция смещений координат расположения приемника в формате сообщения (операция  $\Theta_1$ ).
3. Клеточный поиск первоначального расположения приемника (операция  $\Theta_2$ ).
4. Определение позиции  $(i, j)$  приемника  $x_{п}^{ij}$  по результатам реконфигурации (операция  $\Theta_3$ ).
5. Вычисление значений переменных  $\Phi_k^{ij}, I_k^{ij}$  для текущего расположения отказавших узлов, источника (для позиции  $x_{и}^{ij}$ ) и приемника ( $x_{п}^{ij}$ ) (операции  $\Theta_4, \Theta_5$ ).
6. Определение направлений  $\{N_k^{ij}\}$  дуг минимального маршрута передачи сообщения от источника к приемнику (операция  $\Theta_6$ ).
7. Коммутация каналов маршрутизатора по значениям  $\{N_k^{ij}\}$  (операция  $\Theta_7$ ).

## Заключение

В работе представлен распределенный децентрализованный, клеточный алгоритм маршрутизации сообщений в реконфигурируемой структуре МПС, позволяющий для произвольного числа и конфигурации отказавших элементов находить путь и формировать канал передачи сообщения путем настройки внутренних коммутаторов процессорных элементов.

Алгоритм базируется на предварительном клеточном поиске расположения приемника сообщения по результатам реконфигурации МПС, что позволило исключить формирование и хранение данных о расположении программ после восстановления. Построение кратчайших маршрутов передачи сообщений основано на моделировании реакции естественно-подобной токопроводящей среды на запрос от источника сообщения. Установившееся распределение токов в токопроводящей среде позволило выбирать оптимальные направления передачи сообщения в обход отказавших элементов по максимальным значениям вытекающих из узлов токов. Процесс формирования маршрута выполняется децентрализованно по единым правилам для всех клеток без трудоемкого сбора и обработки глобальной информации о расположении отказавших элементов. Клетки маршрута выполняют настрой-

ку коммутаторов ПЭ передачи сообщения между выбранным входом и выходом без ввода дополнительных коммутационных элементов и связей.

Реализация клеточного алгоритма обеспечена отказоустойчивой организацией МПС из адаптивных процессорных элементов, основанной на решетчатой структуре системы с распределенными в ней резервными элементами и резервированием программных модулей физических соседей для каждого ПЭ, а также клеточной средой реконфигурации. Использование токопроводящей среды для реконфигурации и маршрутизации позволило создать единую клеточную среду для восстановления логической структуры и организации обмена в реконфигурируемой системе с произвольным числом и конфигурацией отказавших элементов.

Разработанный клеточный алгоритм без дополнительной коррекции применим при масштабировании МПС.

#### Список литературы

1. **Koloskov V. A., Medvedeva M. V.** Algorithms of Recustomizing of Fault-Tolerant Multicontrollers // Supplement of the 2001 IEEE International Conference on Dependable Systems and Networks. Goteborg, Sweden. July 2001. P. B-22.
2. **Koloskov V. A., Medvedeva M. V.** Models of Active Environment of Self-Organization of Fault-Tolerant Multicontrollers // Programming and Computer Software. 2001. Vol. 27, N 6. P. 67–76.
3. **Medvedeva M. V., Koloskov V. A.** Self-Organization of Cellular Environment and Reproduction of the Network Logical Structure // Nuclear Inst. And Methods in Physics Research, A. 2003. Vol. 502/2–3. P. 540–542.
4. **Olson A. and Shin K. G.** Fault — Tolerant Routing in Mesh Architectures // IEEE on Parallel and Distributed Systems. 1994. Vol. 5, N. 11. P. 1225–1233.
5. **Wu J.** Fault-Tolerant Adaptive and Minimal Routing in Mesh-Connected Multicomputers Using Extended Safety Levels // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. 2000. Vol. 11, N 2. P. 149–159.
6. **Колосков В. А., Колоскова Г. П., Лонг Динь Т.** Управляемая клеточная непрерывная среда самореконфигурации многопроцессорных систем // Информационные технологии. 2012. № 9. С. 22–27.

УДК 004.021

**Ш. А. Оцоков**, д-р техн. наук, доц.,  
Московский энергетический институт  
(технический университет),  
e-mail: shamil24@mail.ru

## Эффективный алгоритм округления в высокоточных вычислениях в модулярной арифметике<sup>1</sup>

*Предложен усовершенствованный алгоритм округления в модулярной арифметике для высокоточных вычислений. Получена оценка сложности предложенного алгоритма.*

**Ключевые слова:** модулярная арифметика, двоичные дроби, высокоточные вычисления

### Введение

В настоящее время модулярная арифметика применяется в цифровой обработке сигналов, помехозащищенном кодировании, криптографии и других областях [1]. Широкий спектр ее применения во многом обусловлен ее достоинствами: независимостью обработки данных по каждому модулю, единому представлению чисел различной природы (целых, рациональных, комплексно-рациональных) и др.

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке гранта президента для молодых докторов наук МД-739.2013.9.

Исследования модулярной системы счисления (МСС) выявили новые возможности по ее применению для ускорения высокоточных вычислений с двоичными дробями при решении ряда вычислительных задач, таких как решение систем линейных уравнений методом Гаусса—Зейделя, нахождение скалярного произведения, быстрого преобразования Фурье и др.

Высокоточные вычисления в модулярной арифметике проводились по схеме с отложенным округлением, при которой округление выполнялось не после каждой операции, а после группы операций. Это связано с тем, что существенным недостатком, сдерживающим применение МСС, является сложность округления. Число арифметических операций, проводимых без округления, названо шагом отложенного округления [2]. Проведенные численные эксперименты на многоядерном графическом ускорителе NVIDIA показали эффект ускорения модулярных высокоточных вычислений при увеличении числа модулей. Это связано с тем, что при возрастании числа модулей увеличивается шаг отложенного округления, а это приводит к уменьшению общего числа округлений в процессе вычислений и времени решения задачи.

Цель настоящей работы состоит в усовершенствовании алгоритма округления в МСС, применение которого позволит в еще большей степени повысить эффективность высокоточных вычислений в модулярной арифметике за счет ускоренного округления.

Рассмотрим схему высокоточных вычислений с отложенным округлением в модулярной арифметике.

## 1. Схема высокоточных модулярных вычислений

На рис. 1 приведена общая схема высокоточных вычислений в модулярной арифметике [2].

В соответствии с этой схемой вычисления проводятся следующим образом [2]:

1. Прямое преобразование исходных данных в МСС.

2. Выполнение первой арифметической операции в МСС.

3. Проверка необходимости округления. Если оно требуется — проводится округление, если нет — переход к п. 4.

4. Выполнение следующей арифметической операции в МСС и т. д.

5. Конечные результаты вычислений, полученные в МСС, преобразуются в позиционную систему счисления.

Вычисления по схеме с отложенным округлением, представленной на рис. 1, проводятся с двоичными дробями следующего вида [2]:

$$A = \frac{K}{2^{k_f}}, \quad (1)$$

где  $K$  — целое число такое, что  $|K| \leq 2^{n_f + k_f} - 1$ ;  $n_f$  — длина целой части числа  $A$  в формате с фиксированной точкой;  $k_f$  — длина дробной части числа  $A$  в формате с фиксированной точкой.

В модулярном формате дроби вида (1) по модулям  $p_1, p_2, \dots, p_n$  таким, что  $p_1 < p_2 < \dots < p_n$ , представляются в виде

$$\alpha_i = |A|_{p_i} = |K \cdot 2^{-k_f}|_{p_i}, \quad i = 1, \dots, n,$$

и число  $A$  записывается в виде [2]

$$A = \lfloor (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, k_f) \rfloor, \quad (2)$$

где  $\alpha_i = |A|_{p_i} = |K \cdot 2^{-k_f}|_{p_i}$ ;  $\alpha_i$  называют *мантиссой* числа в модулярном формате;  $k_f$  — *порядок*.

Пусть в ходе компьютерных вычислений в модулярной арифметике по правилам, описанным в работе [3], получен результат  $R = [(r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_n), t]$ , требующий округления, и ему соответствует следующая двоичная дробь:

$$A_2 = \frac{K_2}{2^t}, \quad (3)$$

где  $t \geq 0$ .

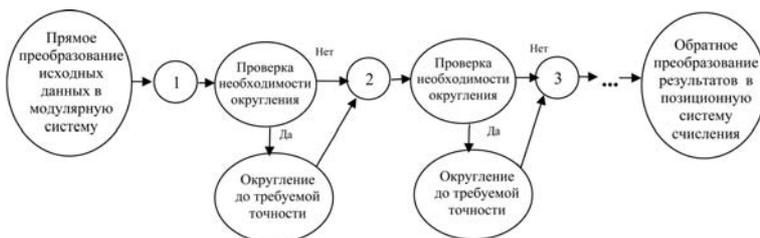


Рис. 1. Схема высокоточных вычислений с отложенным округлением

Пусть  $p^*$  — дополнительный модуль такой, что  $p^* > (\sum_{i=1}^n p_i - n)$  и модулярные вычисления проводятся по модулям  $p_1, p_2, \dots, p_n, p^*$ .

Тогда результат, требующий округления, имеет вид

$$R = [(r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_n, r^*), t].$$

Округление выполняется путем отбрасывания справа разрядов результата, начиная с позиции  $k_f$ . В МСС округление сводится к последовательности операций: восстановление числителя  $K_2$ ; определение знака  $K_2$ ; отбрасывание справа разрядов числителя  $K_2$ , начиная с позиции  $K_f$ ; корректировка порядка  $t$ ; проверка знака результата и вычисление отношения числителя к двойке в степени порядка.

Рассмотрим вспомогательный алгоритм для определения ранга числа  $K_2$ , необходимого при округлении.

## 2. Вспомогательный алгоритм для определения ранга $K_2$

В соответствии с китайской теоремой об остатках

$$K_2 = \sum_{i=1}^n B_i \beta_i - rank \cdot P, \quad (4)$$

где  $B_i$  — ортогональные базисы;  $rank$  — ранг (такое число, что выполняется неравенство  $K_2 < P$ ).

Максимально возможное значение  $rank$  определяется из следующих неравенств:

$$\sum_{i=1}^n B_i \beta_i \leq \sum_{i=1}^n B_i (p_i - 1) < P \left( \sum_{i=1}^n p_i - n \right).$$

Отсюда видно, что

$$rank < \left( \sum_{i=1}^n p_i - n \right) < p^*.$$

Ортогональные базисы  $B_i$  являются константами МСС с заданными модулями и определяются следующим образом [3]:

$$\begin{aligned} B_i &= m_i \frac{P}{p_i}, \\ m_i &= \left| \frac{P}{p_i} \right|_{p_i}^{-1}, \\ P &= \prod_{i=1}^n p_i. \end{aligned} \quad (5)$$

Значение ранга  $rank$  определяется по формуле [3]

$$rank = \left\lfloor \left( \sum_{i=1}^n B_i \beta_i - \beta^* \right) P^{-1} \right\rfloor_{p^*}. \quad (6)$$

При определении ранга по формуле (6) используются только модульные операции (по модулю  $p^*$ ).

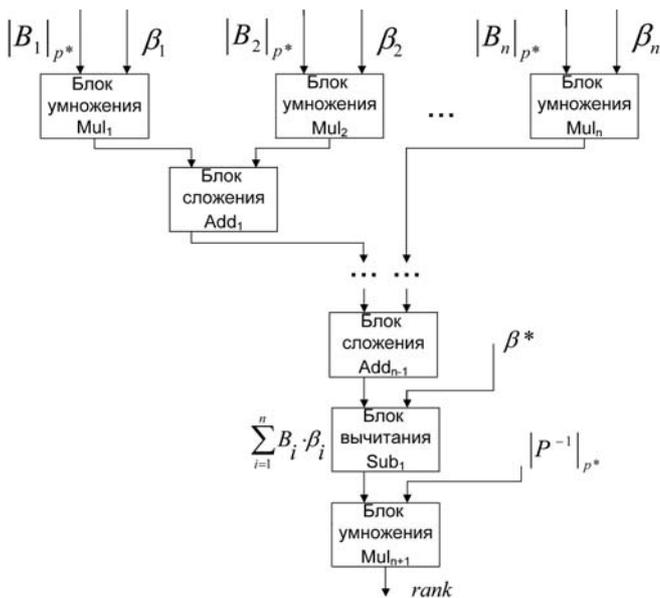


Рис. 2. Схема для быстрого вычисления ранга по формуле (6)

В целях ускорения определения ранга по формуле (6) значения  $|B_i|_{p^*}$ ,  $|P^{-1}|_{p^*}$  могут быть вычислены заранее и храниться в памяти компьютера перед выполнением модулярных вычислений.

На рис. 2 приведена схема для быстрого вычисления  $rank$  по формуле (6).

В соответствии с приведенной выше схемой  $rank$  может быть найден по формуле (6) за  $\lceil \log_2 n \rceil + 2$  шагов.

Рассмотрим вспомогательный алгоритм определения знака  $K_2$ .

### 3. Вспомогательный алгоритм для определения знака $K_2$

Пусть  $P_{(1/2)} = \frac{1}{2}P$ , где  $P = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n$ ;  $[0, \dots, P_{(1/2)})$  — диапазон представления положительных чисел;  $[P_{(1/2)}, \dots, P)$  — диапазон представления отрицательных чисел.

В соответствии с формулой (4)

$$K_2 = \sum_{i=1}^n B_i \beta_i - rank \cdot P. \quad (7)$$

Пусть

$$\begin{aligned} \vartheta_1 &= \frac{1}{2} P \bmod p_1, \\ &\dots \\ \vartheta_n &= \frac{1}{2} P \bmod p_n, \\ \frac{1}{2} P &= \sum_{i=1}^n B_i \vartheta_i - rank_2 P_2, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $rank_2$  — ранг числа  $P/2$ .

Представим разность  $K_2$  и  $P/2$  в виде

$$K_2 - \frac{1}{2} P = \sum_{i=1}^n B_i (\beta_i - \vartheta_i) - rank_3 \cdot P, \quad (9)$$

где  $rank_3$  — ранг разности чисел  $K_2$  и  $\frac{P}{2}$ .

Зададим функцию  $\varphi_i (i = 1, \dots, n)$  следующим образом:

$$\varphi_i = \begin{cases} 0, & \text{если } \beta_i - \vartheta_i \geq 0, \\ m_i, & \text{если } \beta_i - \vartheta_i < 0. \end{cases} \quad (10)$$

Справедливо следующее утверждение.

**Утверждение.** Если  $rank$ ,  $rank_2$ ,  $rank_3$  — ранги чисел  $K_2$ ,  $\frac{P}{2}$ ,  $K_2 - \frac{P}{2}$  вида (7), (8), (9),  $\varphi_i (i = 1, \dots, n)$  — функция вида (10) и выполняется неравенство:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \varphi_i + rank - rank_2 &> rank_3, \\ \text{то } K_2 &< 0, \\ \text{в противном случае } K_2 &\geq 0. \end{aligned}$$

**Доказательство.** Если знак разности  $K_2$  и  $\frac{P}{2}$  меньше нуля, то  $K_2 < \frac{P}{2}$ , т. е.  $K_2 \in [0, \dots, P_{(1/2)})$ , следовательно,  $K_2$  — положительное число.

Если разность  $K_2$  и  $\frac{P}{2}$  больше нуля, то  $K_2$  — отрицательное число.

Из (7), (8) следует, что

$$\begin{aligned} K_2 - \frac{1}{2} P &= \sum_{i=1}^n B_i (\beta_i - \vartheta_i) - rank \cdot P + rank_2 \cdot P = \\ &= \sum_{i=1}^n B_i (\beta_i - \vartheta_i) - (rank - rank_2) P. \end{aligned} \quad (11)$$

Пусть для некоторых  $j_1, \dots, j_k$ ,  $\beta_{j_1} - \vartheta_{j_1} < 0, \dots, \beta_{j_k} - \vartheta_{j_k} < 0$ , тогда

$$\begin{aligned} K_2 - \frac{1}{2} P &= \sum_{i=1, i \neq (j_1, \dots, j_k)}^n B_i (\beta_i - \vartheta_i) - rank \cdot P + \\ &+ rank_2 \cdot P + (p_{j_1} - \beta_{j_1} + \vartheta_{j_1}) B_{j_1} - p_{j_1} B_{j_1} + \dots + \\ &+ (p_{j_k} - \beta_{j_k} + \vartheta_{j_k}) B_{j_k} - p_{j_1} B_{j_1} - \dots - p_{j_k} B_{j_k} = \\ &= \sum_{i=1, i \neq (j_1, \dots, j_k)}^n B_i (\beta_i - \vartheta_i) + (p_{j_1} - \beta_{j_1} + \vartheta_{j_1}) B_{j_1} - \\ &- p_{j_1} B_{j_1} + \dots + (p_{j_k} - \beta_{j_k} + \vartheta_{j_k}) B_{j_k} - rank P + \\ &+ rank_2 \cdot P - m_{j_1} P - \dots - m_{j_k} P = \sum_{i=1}^n B_i (\beta_i - \vartheta_i) - rank_3 \cdot P. \end{aligned}$$

Исходя из того, что  $rank_3$  — это минимальное целое положительное число такое, что выражение (9) меньше, чем  $P$ , и больше нуля, получаем, что если

$$-rank + rank_2 - m_{j_1} - \dots - m_{j_k} < -rank_3,$$

$$\text{то } K_2 - \frac{P}{2} < 0.$$

Так как сумма  $\sum_{i=1}^n \varphi_i = m_{j_1} + \dots + m_{j_k}$ , то получаем,

$$\text{что если } \sum_{i=1}^n \varphi_i + rank - rank_2 > rank_3, \text{ то } K_2 - \frac{P}{2} < 0,$$

что и требовалось доказать.

**Пример.** Пусть заданы модули МСС  $p_1 = 5, p_2 = 7, p_3 = 11$ .

Требуется определить знак числа  $A = (2, 1, 2)$ .

Определяем базисы по формулам (5):

$$B_1 = 231, B_2 = 330, B_3 = 210 \text{ и } m_1 = 3, m_2 = 6, m_3 = 6,$$

ранг числа  $A$ :  $rank = 3$ .

Вычислим ранг  $rank_2$ :

$$P_{(1/2)} = \frac{1}{2} P = 192, \text{ что соответствует в МСС числу}$$

$$(2, 3, 5), rank_2 = 6.$$

Вычислим ранг  $rank_3$ :

$$A - \frac{P}{2} = (0, 5, 8) \text{ и } rank_3 = 8.$$

Проверяем условие утверждения и получаем, что оно выполняется, т. е.  $6 + 6 + 3 - 6 > 8$ .

Из утверждения следует:  $A$  — положительное число, что подтверждается тем, что  $A$  соответствует 57 в позиционной системе счисления.

Алгоритм для определения знака числа  $K_2$  представлен ниже.

1. Определим  $rank$  числа  $K_2$  по формуле (6).

2. Вычислим  $rank_2$  числа  $\frac{P}{2}$  по формуле (6).

3. Определим разность  $K_2$  и  $\frac{P}{2}$ , вычислим ее

ранг  $rank_3$  по формуле (6) и подсчитаем  $\sum_{i=1}^n \varphi_i$ .

4. Проверим условия утверждения и определим знак числа  $K_2$ .

Значение  $rank_2$  является константой для заданных модулей МСС и может быть заранее вычислено.

В целях ускорения значения  $rank, rank_3, \sum_{i=1}^n \varphi_i$  могут быть определены параллельно.

Общая оценка в этом случае:  $\lceil \log_2 n \rceil + 5$  шага.

Рассмотрим наиболее сложную операцию при округлении в МСС — отбрасывание справа  $s$  разрядов числа  $K_2$ .

#### 4. Вспомогательный алгоритм отбрасывания справа $s$ разрядов числа $K_2$

Возможны два случая:  $R < 0$  и  $R > 0$  (случай, когда  $R = 0$  исключен, так как для него округление не требуется).

Первый случай:  $R > 0$ . Тогда  $K_2 > 0$ .

1. Для восстановления числителя в дроби (3)  $K_2 = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_n, \beta^*)$  воспользуемся формулами

$$\beta_i = r_i(2^t) \bmod p_i, \quad i = 1, \dots, n,$$

$$\beta^* = r^*(2^t) \bmod p^*.$$

Из (4) следует, что:

$$\begin{aligned} |K_2|_{2^s} &= \left\| \sum_{i=1}^n B_i \beta_i \right\|_{2^s} - |rank|_{2^s} \cdot |P|_{2^s} \Big|_{2^s} = \\ &= \left\| \sum_{i=1}^n B_i \beta_i \right\|_{2^s} - |rank|_{2^s} \cdot |P|_{2^s} + 2^s p^* \Big|_{2^s} \quad (12) \\ &\left\| \sum_{i=1}^n B_i \beta_i \right\|_{2^s} - rank|_{2^s} \cdot |P|_{2^s} + 2^s p^* \Big|_{2^s} \leq \\ &\leq |(n + p^*) \cdot 2^s|_{2^s}. \end{aligned}$$

Тогда  $K_2$  после отбрасывания лишних  $s$  разрядов определяется следующим образом:

$$K_2 = (K_2 - |K_2|_{2^s}) 2^{-s}. \quad (13)$$

Пусть  $K_2^*$  значение следующего выражения в формате с плавающей точкой:

$$K_2^* = \frac{1}{2^s} \left[ \sum_{i=1}^n B_i \beta_i \right]_{2^s} - |rank|_{2^s} \cdot |P|_{2^s} + 2^s p^*. \quad (14)$$

Пусть  $t_f$  — длина мантиссы чисел в формате с плавающей точкой. Тогда оценка сверху для относительной погрешности  $K_2^*$  будет следующей [4]:

$$\frac{((n+1)^2 + p^*) 2^{-t_f+1}}{K_2^*} < ((n+1)^2 + p^*) 2^{-t_f+1}.$$

Определим  $t_f$  достаточное для получения  $K_2^*$  с точностью  $\lfloor \log_2(n + p^*) \rfloor$  значащих цифр, исходя из неравенства:

$$((n+1)^2 + p^*) 2^{-t_f+1} < 2^{-\lfloor \log_2(n + p^*) \rfloor + 1},$$

$$2^{-t_f+1} < \frac{2^{-\lfloor \log_2(n + p^*) \rfloor + 1}}{((n+1)^2 + p^*)},$$

$$-t_f + 1 < -\lfloor \log_2(n + p^*) \rfloor + 1 - \log_2((n+1)^2 + p^*),$$

$$t_f - 1 > \lfloor \log_2(n + p^*) \rfloor - 1 + \log_2((n+1)^2 + p^*),$$

$$t_f > \lfloor \log_2(n + p^*) \rfloor + \lfloor \log_2((n+1)^2 + p^*) \rfloor.$$

Отсюда следует, что  $t_f$  достаточное для получения  $K_2^*$  с требуемой точностью, равно

$$t_f = \lfloor \log_2(n + p^*) \rfloor + \lfloor \log_2((n + 1)^2 + p^*) \rfloor + 1. \quad (15)$$

Алгоритм отбрасывания справа разрядов числа  $K_2$  представлен ниже:

1. Определим  $K_2 = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_n, \beta^*)$  по формулам

$$\beta_i = r_i(2^t) \bmod p_i, \quad i = 1, \dots, n,$$

$$\beta^* = r^*(2^t) \bmod p^*.$$

2. Определим знак  $K_2$ , величину  $t_f$  по формуле (15) и  $rank$  числа  $K_2$  по формуле (6).

3. Определяем

$$\varphi_1 = \lceil K_2^* \rceil \bmod p_1, \dots;$$

$$\varphi_n = \lceil K_2^* \rceil \bmod p_n;$$

$$\varphi^* = \lceil K_2^* \rceil \bmod p^*.$$

4. Вычислим

$$\omega_1 = \left\| \sum_{i=1}^n B_i \beta_i \right\|_{p_1} - |rank|_{p_1} \cdot |P|_{p_1} - \varphi_1 2^s \Big|_{p_1},$$

$$\omega_n = \left\| \sum_{i=1}^n B_i \beta_i \right\|_{p_n} - |rank|_{p_n} \cdot |P|_{p_n} - \varphi_n 2^s \Big|_{p_n},$$

$$\omega^* = \left\| \sum_{i=1}^n B_i \beta_i \right\|_{p^*} - |rank|_{p^*} \cdot |P|_{p^*} - \varphi^* 2^s \Big|_{p^*}.$$

5. Находим результат по формуле:

$$K_2 = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \lambda^*),$$

$$\lambda_1 = |(\beta_1 - w_1) \cdot 2^{-s}|_{p_1},$$

...

$$\lambda_n = |(\beta_n - w_n) \cdot 2^{-s}|_{p_n},$$

$$\lambda^* = |(\beta^* - w^*) \cdot 2^{-s}|_{p^*}.$$

В этом алгоритме в пункте 3 величина  $\lceil K_2^* \rceil$  вычисляется по формуле (14) в формате с плавающей точкой с длиной мантииссы  $t_f$ , определяемой в (15).

Второй случай, когда  $R < 0$ , аналогичен первому. Отличие заключается в том, что  $K_2 < 0$  и пункт 1 алгоритма отбрасывания справа  $s$  разрядов числа  $K_2$  имеет следующий вид:

1. Для восстановления числителя в дроби (3)  $K_2 = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_n, \beta^*)$  воспользуемся формулами:

$$\beta_i = p_i - r_i(2^t) \bmod p_i, \quad i = 1, \dots, n;$$

$$\beta^* = p^* - r^*(2^t) \bmod p^*,$$

а пункт 5 алгоритма будет иметь такой вид.

5. Находим результат по формуле

$$K_2 = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \lambda^*);$$

$$\lambda_1 = |(p_1 - (\beta_1 - w_1) \cdot 2^{-s})|_{p_1};$$

...

$$\lambda_n = |p_2 - (\beta_n - w_n) \cdot 2^{-s}|_{p_n};$$

$$\lambda^* = |p^* - (\beta^* - w^*) \cdot 2^{-s}|_{p^*}.$$

В соответствии с приведенным выше алгоритмом отбрасывания справа  $s$  разрядов результат может быть найден за

$$2\lceil \log_2 n \rceil + 7 + 2t_f^2 + (\lceil \log_2 n \rceil + 1)t_f \text{ шагов.}$$

Рассмотрим алгоритм округления в МСС, включающий данные вспомогательные алгоритмы, и оценим его сложность.

### 5. Алгоритм округления числа $K_2$

Пусть при выполнении арифметических операций в МСС получен результат в виде (3), требующий округления, т. е. для которого выполняется условие необходимости округления [3]. Округление проводится путем отбрасывания справа разрядов числителя результата, начиная с позиции  $k_f$  и уменьшения порядка  $t \geq 0$ . Алгоритм округления числа  $K_2$  представлен ниже.

1. Определение знака  $K_2$ .

2. Отбрасывание справа разрядов числителя  $K_2$ , начиная с позиции  $k_f$ .

3. Корректировка порядка  $t$ .

В соответствии с оценкой для алгоритма отбрасывания и приведенным выше алгоритмом результат после округления может быть найден за

$$3\lceil \log_2 n \rceil + 9 + 2t_f^2 + (\lceil \log_2 n \rceil + 1)t_f \text{ шагов.}$$

### Заключение

Как было указано выше, округление в модулярной системе счисления является сложной операцией. Чем меньше в процессе вычислений было выполнено округлений, тем выше ускорение вычислений. Один из путей ускорения высокоточных вычислений — повышение числа модулей, что позволяет увеличить шаг отложенного округления в схеме высокоточных вычислений и уменьшить общее число округлений. Другой путь — ускорение самой операции округления с использованием предложенного в настоящей статье алгоритма. Наибольший эффект ускорения этой операции возможен при аппаратной реализации предложенного алгоритма.

### Список литературы

1. **Omondi A., Premkumar B.** Residue Number Systems: Theory and Implementation. Imperial College Press, 2007. 296 p.
2. **Дзегеленок И. И., Оцоков Ш. А.** Алгебраизация числовых представлений в обеспечении высокоточных суперкомпьютерных вычислений // Вестник МЭИ. 2010. № 3. С. 107—116.
3. **Оцоков Ш. А.** Метод проверки необходимости округления при организации высокоточных вычислений в модулярной арифметике // Информационные технологии. 2012. № 7. С. 21—27.
4. **Мак-Кракен Д., Дорн У.** Численные методы и программирование на ФОРТРАНе. М.: Мир, 1977. 584 с.

УДК 004:681.3:629.73

Г. Г. Абдуллаева<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, доц.,  
Н. Г. Курбанова<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
И. Х. Мирзазаде<sup>3</sup>, науч. сотр.

<sup>1</sup>Институт кибернетики

НАН Азербайджана, г. Баку

<sup>2</sup>Азербайджанский медицинский университет, г. Баку

<sup>3</sup>Институт математики и механики

НАН Азербайджана, г. Баку

e-mail: ag\_gulchin@rambler.ru,

kurbanovang@hotmail.com

## Интеллектуально-информационная система дифференциальной диагностики отравлений токсическими веществами (на примере отравлений угарным газом)

*Согласно статистическим данным в последние несколько лет наблюдается значительный рост числа острых отравлений угарным газом. Трудность диагностики заключается в том, что одни и те же симптомы и даже синдромы могут наблюдаться при отравлениях различными токсическими веществами. В связи с этим остро встает вопрос о необходимости проведения долабораторной дифференциальной диагностики. Предлагается методология разработки системы дифференциальной диагностики отравлений химическими веществами со схожей симптоматикой на примере отравлений угарным газом.*

**Ключевые слова:** дифференциальная диагностика, угарный газ, фрейм, правила продукции, нейронная сеть, интеллектуальная система

Дифференциальная диагностика и прогнозирование заболеваний имеют решающее значение в деятельности врача. Только своевременно установленный диагноз позволяет выбрать адекватный метод лечения. Есть класс задач в медицине, требующих точность диагноза и быстроту первичной помощи. Отравления токсическими веществами относятся к классу подобных задач, где решение и положительный исход сильно зависят от времени [1—7]. Добавим, что в условиях скорой и неотлож-

ной помощи решение задачи значительно усложняется, когда пострадавший находится в коматозном состоянии. По данным Б. Д. Комарова острые отравления включают в себя до 9 % всех вызовов скорой помощи. Между тем летальность при острых отравлениях остается высокой и составляет в среднем 8 %, возрастая до 32 % при тяжелых формах [2, с. 107—108]. На догоспитальном этапе выявление токсического начала не всегда возможно. Поэтому на первый план выступают меры неспецифического лечения, меры, направленные на устранение тех патологических синдромов, которые возникают под действием отравляющих веществ, а также меры для активной детоксикации (выведения яда из организма). Если известна причина отравления, то важным является специфическая antidotalная терапия (нейтрализация яда с помощью противоядия). Самая большая ответственность ложится на службу скорой помощи, особенно в тех случаях, когда не установлены причины отравления и нет однозначного ответа на случившееся.

### Особенности дифференциальной диагностики отравлений токсическими веществами

В статье рассмотрены случаи отравления следующими токсическими веществами: угарным газом, анилином, атропином, барбитуратами, дихлорэтаном, кодеином, пахикарпином, тубазидом, фосфорорганическими веществами, этиловым спиртом, этиленгликолем, транквилизаторами, антигистаминами, салицилатами, цианидами. Обоснованием для выбора именно этих веществ послужил тот факт, что острые отравления угарным газом и указанными токсическими веществами имеют схожую долабораторную симптоматику.

Согласно статистическим данным в последнее время с развитием нефтяной, химической, газовой промышленности участились случаи отравлений веществами в данных отраслях. Особенно следует отметить случаи отравления угарным газом, число которых неуклонно возрастает.

В табл. 1 показано число пострадавших от угарного газа в г. Баку за период 2006—2012 гг.

Трудность диагностики заключается в том, что одни и те же симптомы и даже синдромы могут наблюдаться при отравлениях различными токсическими веществами. Поэтому, естественно, требуется проведение дифференциальной диагностики. Отметим, что несмотря на близость клинической

Отравления по районам г. Баку

| №  | Районы г. Баку | 2006 г. | 2007 г. | 2008 г. | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. |
|----|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1  | Наримановский  | 41      | 38      | 38      | 48      | 69      | 121     | 127     |
| 2  | Хатаинский     | 77      | 159     | 154     | 82      | 106     | 135     | 192     |
| 3  | Сабайловский   | 47      | 26      | 36      | 41      | 42      | 85      | 109     |
| 4  | Ясамальский    | 57      | 64      | 88      | 83      | 118     | 137     | 151     |
| 5  | Насиминский    | 20      | 103     | 186     | 122     | 129     | 221     | 237     |
| 6  | Низаминский    | —       | 40      | 63      | 54      | 64      | 123     | 171     |
| 7  | Бинагадинский  | 53      | 70      | 217     | 129     | 190     | 316     | 395     |
| 8  | Хазарский      | —       | —       | 9       | 9       | 17      | 26      | 36      |
| 9  | Сураханинский  | 34      | 33      | 59      | 62      | 70      | 141     | 141     |
| 10 | Сабунчинский   | 30      | 43      | 111     | 72      | 107     | 147     | 221     |
| 11 | Карадагский    | 42      | 83      | 83      | 86      | 98      | 115     | 232     |
| 12 | ИТОГО:         | 401     | 659     | 1044    | 788     | 1010    | 1567    | 2012    |

картины отравлений, т. е. на схожесть симптоматики, антидотная терапия для каждого типа отравлений специфическая, что особо необходимо учитывать при оказании первичной неотложной помощи.

Угарный газ, или оксид углерода (СО), образуется везде, где существуют условия для неполного сгорания содержащих углерод веществ. СО — бесцветный газ, не имеющий вкуса, запах его очень слабый, почти неощутимый. Отравление возможно:

- на производстве, где угарный газ используется для синтеза ряда органических веществ (ацетона, метилового спирта, фенола и т. д.);
- в гаражах при плохой вентиляции; в других непроветриваемых или слабопроветриваемых помещениях, например, в туннелях (в выхлопе автомобиля содержится до 1...3 % СО по нормативам и свыше 10 % при плохой регулировке карбюраторного мотора);
- в непроветриваемых вновь окрашенных помещениях;
- в домашних условиях при утечке светильного газа и при несвоевременно закрытых печных заслонках в помещениях с печным отоплением (дома, бани);
- при некачественном воздухе в дыхательных аппаратах, используемых при пожарах и т. д.

Легко проникая через легкие в кровь, угарный газ взаимодействует с гемоглобином, образуя карбоксигемоглобин (НbСО), и блокирует передачу кислорода тканевым клеткам, что приводит к гипоксии. Присутствие НbСО в крови является дифференциально-диагностическим признаком отравления угарным газом. Отметим, что существует аппарат пульсоксиметр для экстренной идентификации присутствия НbСО в крови. Это особенно важно в случаях с тяжелой клинической картиной отравления для правильного выбора метода активной детоксикации организма. Но исследования, проведенные в Великобритании [8], показали, что карбоксигемоглобин, появляющийся при отравлении угарным газом, может давать значение сатурации около 100 %, т. е. пульсоксиметр дает ложные значения при этой патологии и потому не должен использоваться.

Очевидно, что для решения задачи диагностики отравления угарным газом одним из важнейших помощников и консультантов могут стать современные информационные технологии, основанные на знаниях. Привлечение методов искусственного интеллекта, возможностей мягких вычислений, создание баз данных, баз знаний могут оказать неоценимую помощь в решении данной задачи. Ее решение нам видится в разработке интеллектуально-информационной системы дифференциальной диагностики отравления угарным газом и токсическими веществами, близкими по симптоматике и клинической картине.

### Структура системы диагностики

На основе проведенных исследований разработана архитектура интеллектуально-информационной системы дифференциальной диагностики, представленная на рис. 1. Основными модулями системы являются:

- $B_i$  —  $i$ -я врачебная бригада скорой и неотложной помощи;
- база данных (БД) клинических симптомов токсических веществ;
- база знаний (БЗ), основанная на правилах продукции и фреймовом представлении;
- решатель, принимающий решение на основе теории Байеса и нейронной сети;

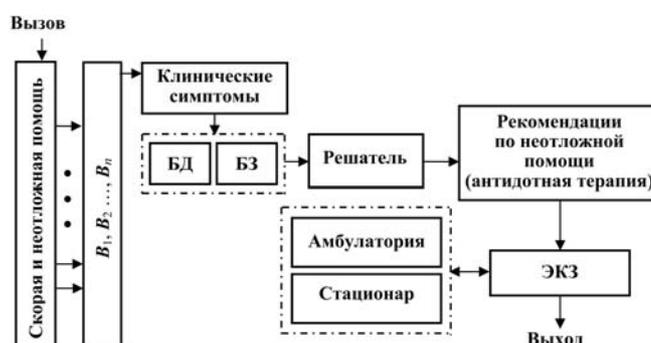


Рис. 1. Структура интеллектуально-информационной системы

- антидотная терапия, прекращающая или ослабляющая действие яда на организм. Выбор антидота определяется типом и характером действия веществ, вызвавших отравление, эффективность применения зависит от точности установления вещества, вызвавшего отравление, а также от того, как быстро оказана помощь;
- электронная карта здоровья (ЭКЗ).

Все указанные модули системы функционируют в порядке, описанном в структурной схеме.

### Интеллектуальные элементы системы диагностики

Ключевыми элементами системы диагностирования, обеспечивающими ее интеллектуализацию, являются БД и БЗ.

**База данных.** БД строится на основе данных экспертных заключений по результатам исследования ситуации клинической картины коматозных состояний при наиболее часто встречающихся отравлениях в условиях скорой помощи. Врач кумулирует информацию по следующим клиническим симптомам: характеристикам зрачков, состояниям нервно-мышечной сферы, кожи, пульса и дыхания. Составлен перечень из 19 клинических симптомов для 15 токсических веществ, реально наблюдаемых в условиях экстренной помощи при отсутствии анамнеза, функциональных и лабораторных данных. Для них сведом обозначения: со знаком "+" — присутствие признака в предполагаемой гипотезе, "0" — его отсутствие, "д/н" (Да/Нет) — его несущественное присутствие, которое может быть обнаружено либо нет, что привносит в диагностику элемент неопределенности.

Для выбора методов решения процесс рассматривается с точки зрения организованной биологической системы. Тогда процесс будет характеризоваться на основе сложности биокрибернетической системы. Идентификация по сложности проводится по числовому значению максимальной сложности системы:

$$H_{\max} = \log m,$$

где  $m$  — число возможных состояний, принимаемых системой.

За величину  $H_{\max}$  принимают максимально возможную неопределенность при расчетах уровня организации. Если существует возможность вычисления вероятностей каждого из состояний системы  $p_i$ , то неопределенность функционирования системы (в данном случае биологической) вычисляется следующим образом:

$$H = - \sum_{i=1}^m p_i \log p_i$$

Далее рассчитываются значение относительной организации:

$$R = 1 - \frac{H}{H_{\max}}.$$

Так как  $H_{\max}$  — число состояний и  $R$  — организация принятия системой этих состояний и они характеризуют разные стороны биосистемы, их можно использовать для построения классификационной диаграммы [9] (рис. 2), где на диаграмме представлены следующие биосистемы:

- 11 — простая детерминированная;
- 12 — простая вероятностно-детерминированная;
- 13 — простая вероятностная;
- 21 — сложная детерминированная;
- 22 — сложная вероятностно-детерминированная;
- 23 — сложная вероятностная;
- 31 — очень сложная детерминированная;
- 32 — очень сложная вероятностно-детерминированная;
- 33 — очень сложная вероятностная.

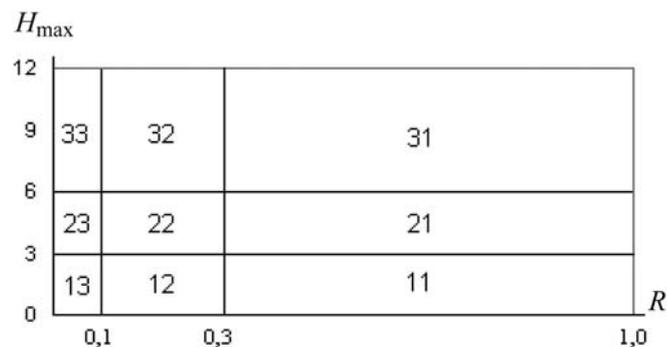


Рис. 2. Классификационная диаграмма

Исследование процесса отравления позволило сделать следующий основной вывод: во-первых, задачу можно рассматривать как простую вероятностную, во-вторых, — как очень сложную вероятностно-детерминированную биосистему.

Подобный подход, т. е. два разных аспекта к решению, даст более достоверный ответ. Рассмотрим оба случая, где исходными данными будут клинические проявления отравлений указанными токсическими веществами.

**1. Простая вероятностная модель.** Субъективный байесовский метод принятия решений основан на понимании вероятности некоторого события как некоторой оценки, приписываемой ему человеком, которая может измениться при получении дополнительной информации. Выбор байесовского метода принятия решений обусловлен тем, что он имеет строгое математическое обоснование и применим для решения задач диагностики и тестирования знаний, а это соответствует поставленной задаче. Математический фундамент байесовского

метода составляет содержание известной *теоремы Байеса* [10, 11].

*Теорема.* Пусть  $H_1, H_2, \dots, H_n$  — множество попарно несовместимых событий, полное в том смысле, что одно из событий непременно наступает;  $S$  — событие с вероятностью  $P(S) > 0$ . Тогда вероятность  $H_i$  при условии, что наступило  $S$ , может быть вычислена по формуле

$$P(H_i/S) = \frac{P(S/H_i)P(H_i)}{\sum_{j=1}^n P(S/H_j)P(H_j)}. \quad (1)$$

Далее принята следующая терминология: события  $H_i$  называют гипотезами;  $P(H_i)$  — априорными вероятностями гипотез;  $P(H_i/S)$  — апостериорными вероятностями гипотез; событие  $S$  — симптомом;  $P(S/H_i)$  — вероятностями подтверждения гипотез  $H_j$  симптомом  $S$ .

Пусть  $H$  — гипотеза, а  $S$  — симптом. Рассмотрим события  $H$  и  $\sim H$ . Они несовместны и полны. Симптом  $S$  может иметь место или отсутствовать, т. е. иметь место  $\sim S$ . Тогда по теореме Байеса

$$P(S/H) = \frac{P(S/H)P(H)}{P(S/H)P(H) + P(S/\sim H)P(\sim H)};$$

$$P(H/\sim S) = \frac{P(\sim S/H)P(H)}{P(\sim S/H)P(H) + P(\sim S/\sim H)P(\sim H)}.$$

Вводя обозначения  $P^+ = P(S/H)$ ,  $P^- = P(S/\sim H)$  и учитывая, что

$$P(\sim H) = 1 - P(H), \quad P(\sim S/H) = 1 - P(S/H), \\ P(\sim S/\sim H) = 1 - P(S/\sim H),$$

получаем

$$P(H/S) = \frac{P^+ P(H)}{P^+ P(H) + P^- (1 - P(H))}; \quad (2) \\ P(H/\sim S) = \frac{(1 - P^+) P(H)}{1 - P^+ P(H) - P^- (1 - P(H))}.$$

Следует заметить, что здесь  $P^+ = P(S/H)$  и  $P^- = P(S/\sim H)$  являются вероятностями подтверждения и опровержения гипотезы симптомом. Первая оценка близка эксперту по смыслу и логике его мышления, и поэтому ее значение близко к истинному. Вторая оценка субъективна, она опирается на опыт и интуицию врача и большей частью корректируется на тестовых примерах. На основании экспертных знаний разработаны фреймовые представления всех гипотез. В табл. 2 приведен пример двух таких фреймов.

**База знаний.** БЗ строится на правилах продукции вида: Если "предпосылки" — То "действия":

- 1-я ступень — *строгая дифференциация*:

$$\text{if } \exists x_i \in X \Rightarrow x_i \in y_j,$$

$$\text{then } x_i \notin y_1, y_2, \dots, y_{j-1}, y_{j+1}, \dots, y_m,$$

$$i = 1, 2, \dots, 19; j = 1, 2, \dots, 15;$$

- 2-я ступень — *нестрогая дифференциация*:

$$\text{if } \exists x_i \in X \Rightarrow \exists y_j \in Y,$$

$$\text{then } x_i \in y_j,$$

$$i = 1, 2, \dots, 19; 1 < j < 15;$$

Таблица 2

Фрагмент фреймового представления гипотез "Угарный газ" и "Анилин"

| № п/п | Симптомы                                  | Угарный газ |        |        | Анилин   |        |        |
|-------|---|-------------|--------|--------|----------|--------|--------|
|       |   | Признаки    | $P^+$  | $P^-$  | Признаки | $P^+$  | $P^-$  |
| 1     | Миоз                                      | д/н         | 0,3443 | 0,3548 | 0        |        |        |
| 2     | Мидриаз                                   | +           | 0,9821 | 0,4229 | +        | 0,9208 | 0,3209 |
| 3     | Игра зрачков                              | д/н         | 0,5002 | 0,4976 | 0        |        |        |
| 4     | Миофибрилляции синхронные                 | д/н         | 0,5017 | 0,5004 | 0        |        |        |
| 5     | Миофибрилляции асинхронные                | д/н         | 0,4992 | 0,4899 | 0        |        |        |
| 6     | Гиперкинезы хореоидного типа              | д/н         | 0,5034 | 0,4938 | +        | 0,8877 | 0,2977 |
| 7     | Ригидность мышц затылка                   | +           | 0,9777 | 0,2338 | 0        |        |        |
| 8     | Асинхронные судороги                      | +           | 0,9678 | 0,5246 | +        | 0,8979 | 0,4320 |
| 9     | Эпилептиформный судорожный статус         | д/н         | 0,4887 | 0,4902 | д/н      | 0,5008 | 0,4989 |
| 10    | Потливость кожи                           | д/н         | 0,4910 | 0,5006 | д/н      | 0,5037 | 0,5005 |
| 11    | Сухость кожи                              | д/н         | 0,5028 | 0,5009 | д/н      | 0,4927 | 0,4870 |
| 12    | Резкий цианоз кожи                        | д/н         | 0,4881 | 0,5000 | д/н      | 0,9833 | 0,0141 |
| 13    | Гиперемия кожи                            | д/н         | 0,4929 | 0,4899 | 0        |        |        |
| 14    | Мраморность кожи                          | д/н         | 0,5101 | 0,5027 | д/н      | 0,5011 | 0,5003 |
| 15    | Брадикардия                               | д/н         | 0,4990 | 0,4809 | 0        |        |        |
| 16    | Тахикардия                                | д/н         | 0,5012 | 0,5100 | д/н      | 0,7868 | 0,3565 |
| 17    | Паралич дыхания при сохраненных рефлексах | +           | 0,9769 | 0,2558 | 0        |        |        |
| 18    | Паралич дыхания только на фоне арефлексии | д/н         | 0,4876 | 0,4709 | +        | 0,7668 | 0,3727 |
| 19    | Бронхорея                                 | д/н         | 0,5031 | 0,4900 | д/н      | 0,5000 | 0,4989 |

- 3-я ступень — *неопределенная дифференциация*:

$$\text{if } \exists x_i \in X,$$

$$\text{then } \Rightarrow \{x_i \in y_j\} \vee \{x_i \notin y_j\},$$

$$i = 1, 2, \dots, 19; 1 < j < 15.$$

Здесь  $\{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$  — клинические симптомы пациента;  $y_j$  — возможные гипотезы из  $Y$  (для каждой гипотезы строится фрейм);  $X$  — множество состояний.

Пусть на симптом допустимы ответы—альтернативы "Да — Нет", тогда получим  $2^k$  последовательностей ответов, которые задают различные траектории вычислений. Если отвечать всегда так, чтобы вероятность увеличивалась (уменьшалась), то получим траекторию, приводящую к максимально (минимально) возможной вероятности  $P_{\max}(H)$  ( $P_{\min}(H)$ ) данной гипотезы. На основании максимальной и минимальной вероятностей установим для каждой гипотезы значения верхнего и нижнего порогов. Будем считать гипотезу принятой, если траектория вычислений дает значение вероятности гипотезы, превышающее значение верхнего порога, и отвергнутой, если значение вероятности гипотезы меньше значений нижнего порога.

Таким образом, все траектории вычислений разбиваются на три класса траекторий, приводящих к принятию, отвержению и неопределенности гипотезы. По формуле (2) вычисляются вероятности гипотез, и предпочтение отдается гипотезе с очевидной наибольшей вероятностью. Ситуацию назовем неопределенной, когда по теории Байеса нет достаточных данных для принятия адекватного решения.

В этом случае биосистема воспринимается как сложная вероятностно-детерминированная и к ее диагностике предлагается теория нейронных сетей.

**II. Сложная вероятностно-детерминированная модель.** Обладая способностью обучения и обобщения знаний, нейронная сеть имеет особенности искусственного интеллекта. По сравнению со статистическими методами анализа нейронные сети имеют определенные преимущества, такие как уменьшение пространства измерения входных данных, выбор информативно важных параметров и др. Для создания нейронной сети необходимыми являются определение входных/выходных параметров и обучение сети.

В зависимости от входных/выходных параметров могут быть построены одно-, двух- или многослойные нейронные сети. В работе предлагается двухслойная модель нейронной сети. Входные параметры нейронной сети определяются на основе 19 клинических признаков (рис. 3). В отличие от метода Байеса нейронной сетью определяются все три проявления клинического признака: обязатель-

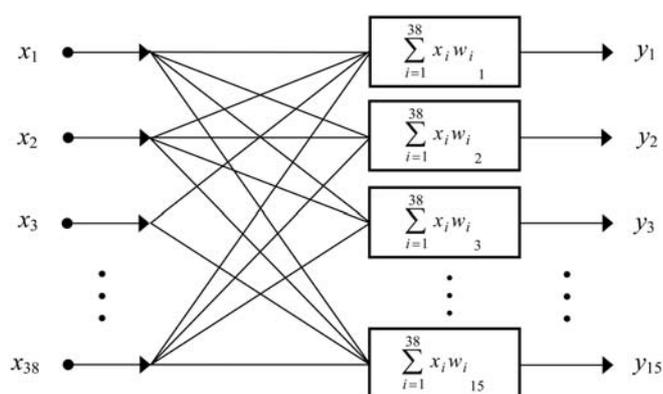


Рис. 3. Структура двухслойной нейронной сети с 38 входами и 15 выходами

ное наличие, обязательное отсутствие или незначительное наличие/отсутствие симптома. В таком случае не происходят потери информации в исходных данных.

Учитывая это, для каждого входного параметра целесообразно наличие двух нейронов. Один из них активизируется при выявлении признака, второй нейрон активизируется в случае его отсутствия. Этим обосновывается достаточность 38 входных нейронов. Выходами являются 15 гипотез. Второй слой сети при этом можно представить в виде суммы

$$y_i = \sum_{i=m, k, l, \dots}^{38} x_i^+ + \sum_{i=t, s, p, \dots}^{38} x_i^- + a \left( \sum_{i=j, r, v, \dots}^{38} x_i^{д/н} \right). \quad (3)$$

Здесь  $x_i^+$  — обязательное присутствие параметра  $x_i$ ;  $x_i^-$  — обязательное отсутствие параметра  $x_i$ ;  $x_i^{д/н}$  — наличие параметра  $x_i$ , не являющегося доминирующим в соответствующей гипотезе.

Если в выражении (3) первую и вторую сумму принять за нулевое состояние, подтверждающее существование гипотезы, тогда третья сумма

$$a \left( \sum_{i=j, r, v, \dots}^{38} x_i^{д/н} \right)$$

принимается как множество, подтверждающее гипотезу со всевозможными вариациями. Это множество выполняет две функции:

- все случаи  $a \neq 0$  подтверждают гипотезу;
- множество  $a$  является множеством обучения нейронной сети для распознавания гипотезы, максимальное значение ее числа  $(2^n - 1)$ , где  $n$  равно числу признаков "да/нет", входящих в гипотезу.

Например, при отравлении атропином из множества признаков 6 обязательно встречаются, 9 не встречаются, число не доминирующих "наличие/от-

сутствие" признаков равно 4. Тогда (3) можно записать следующим образом:

$$y_i = \sum_{i=3,11,21,25,31,35}^{38} x_i^+ + \sum_{i=2,6,8,10,14,18,20,30,38}^{38} x_i^- + \alpha \left( \sum_{i=15,23,27,33}^{38} x_i^{д/н} \right). \quad (4)$$

В полученном выражении первая и вторая суммы представляются как нулевой вариант, а третья сумма определяет всевозможные вариации при отравлении атропином. Последняя сумма участвует при обучении нейронной сети. Таким образом алгоритм отравления атропином можно представить следующим образом. Обозначим в (4) первую и вторую суммы через  $A$  и  $B$  соответственно. Тогда нулевой вариант примет вид

$$y_{atropin} = A + B,$$

а вариации будут выражены следующей системой

$$\begin{cases} y_{atropin} = A + B + x_{15}, \\ y_{atropin} = A + B + x_{23}, \\ y_{atropin} = A + B + x_{27}, \\ y_{atropin} = A + B + x_{33}, \\ y_{atropin} = A + B + x_{15} + x_{23}, \\ y_{atropin} = A + B + x_{15} + x_{27}, \\ y_{atropin} = A + B + x_{15} + x_{33}, \\ y_{atropin} = A + B + x_{23} + x_{27}, \\ y_{atropin} = A + B + x_{23} + x_{33}, \\ y_{atropin} = A + B + x_{27} + x_{33}, \\ y_{atropin} = A + B + x_{15} + x_{23} + x_{27}, \\ y_{atropin} = A + B + x_{15} + x_{23} + x_{33}, \\ y_{atropin} = A + B + x_{15} + x_{27} + x_{33}, \\ y_{atropin} = A + B + x_{23} + x_{27} + x_{33}, \\ y_{atropin} = A + B + x_{15} + x_{23} + x_{27} + x_{33}. \end{cases}$$

При отравлении атропином для диагностики в рамках указанных признаков максимальное число обучаемых функций 15. Для угарного газа выражение (4) переписывается следующим образом:

$$y_i = \sum_{i=3,13,15,33}^{38} x_i^+ + \alpha \left( \sum_{i=1,5,7,9,11,17,19,21,23,25,27,29,31,35,37}^{38} x_i^{д/н} \right). \quad (5)$$

В результате применения предложенных методов дифференциальной диагностики определяется токсическое вещество и применяется соответствующее антидотное средство. Результаты дифференциальной диагностики и антидотной терапии в

автоматическом режиме записываются в электронную карту здоровья (ЭКЗ) пациента, разработанной в рамках "Государственной программы развития в Азербайджанской Республике связи и информационных технологий на 2005—2008 годы (Электронный Азербайджан)", в которой пункт 7.3.11. гласит: разработать "Электронную карту здоровья" граждан Республики, а пункт 7.3.12.: разработать и внедрить показательные информационно-медицинские системы, отражающие деятельность учреждений здравоохранения. Добавим, что ЭКЗ разработана согласно стандартам ISO 7816-1, ISO 7816-2, ISO 7816-3, объем памяти EEPROM 16 кбайт.

Разработан программный продукт, который прошел тестирование и апробацию на данных Центральной скорой и неотложной медицинской помощи г. Баку. На рис. 4 (см. третью сторону обложки) приводятся фрагменты рабочей программы, где  $a$ ) — окно выбора наблюдаемых симптомов,  $b$ ) — пошаговая диагностика обоими методами,  $в$ ) — фрагмент электронной карты здоровья.

### Заключение

Исследованы случаи отравления угарным газом, выявлены симптомы для его диагностики, обоснована необходимость дифференциальной диагностики схожих по симптоматике отравлений. Программный продукт прошел тестирование на реальных картах больных за 2006—2012 гг. Центральной скорой и неотложной медицинской помощи г. Баку. Эксплуатация системы не требует специальных знаний в области информационных технологий.

### Список литературы

1. Голиков С. Н. Неотложная помощь при острых отравлениях (справочник по токсикологии). М.: Медицина, 1978.
2. Руководство для врачей скорой помощи / Под ред. В. А. Михайловича. СПб: Медицина, 1990.
3. Эллехорн М. Дж. Медицинская токсикология: Диагностика и лечение отравлений у человека. В 2 т. М.: Медицина, 2003.
4. Щербак С. Г., Першин А. В., Терешин А. Е., Сарана А. М., Белокопытов И. Ю. Диагностика острых отравлений. СПб.: Элби-СПб, 2004.
5. Бова А. А., Горохов С. С. Военная токсикология и токсикология экстремальных ситуаций. Минск: БГМУ, 2005.
6. Спиригин Д., Чамберс Дж. Экстренная медицина. Диагностика и лечение неотложных состояний. М.: Медицинская литература, 2006.
7. Лужников Е. А., Суходолова Г. Н. Острые отравления у взрослых и детей. М.: Эксмо, 2009.
8. www.medlinks.ru: Journal of the American Medical Association, 2006.
9. Трофимова Т. Г., Чернов В. И. Классификация биокрибернетических систем и методология их теоретического исследования // Сб. докл. конф. "Доказательная медицина (клиническое наблюдение, статистическое обобщение, модели процесса)", Воронеж, январь, 2000.
10. Петрушин В. А. Экспертно-обучающие системы. Киев: Наукова Думка, 1992.
11. Вероятность и математическая статистика: Энциклопедия / Гл. ред. акад. Ю. В. Прохоров. М.: Большая Российская энциклопедия, 1999.

**Я. А. Туровский**, канд. мед. наук, зав. лаб.,  
e-mail: yaroslav\_turovsk@mail.ru,  
**С. Д. Кургалин**, д-р физ.-мат. наук, зав. каф.,  
**А. Г. Семенов**, магистрант,  
Воронежский государственный университет

## Исследование динамики максимумов локальных вейвлет-спектров вызванных зрительных потенциалов головного мозга

*Метод, созданный на основе использования данных о динамике цепочек локальных максимумов (ЦЛМ) матриц квадратов коэффициентов непрерывного вейвлет-преобразования, применен в исследовании вызванных зрительных потенциалов головного мозга. Проведена классификация полученных ЦЛМ и выявлено пять их основных типов как для частотного, так и для энергетического пространства, что повторяет результат аналогичной классификации, полученный ранее при анализе фоновой ЭЭГ. Разработанные алгоритмы продемонстрировали высокую чувствительность к динамике зрительных вызванных потенциалов.*

**Ключевые слова:** электроэнцефалограмма, цепочка локальных максимумов, вейвлет-анализ, локальный спектр

### Введение

Использование современных методов получения и обработки медико-биологических данных, основанных на компьютерных (или информационно-коммуникационных) технологиях, позволяет существенно увеличить объем полезной информации, извлекаемой из биомедицинских сигналов. Ряд методов, ставших уже классическими, завоевал прочное место в научных исследованиях и клинической практике. К таковым можно отнести электроэнцефалографию, использующую запись электрических потенциалов головного мозга с поверхности головы — электроэнцефалограмму (ЭЭГ). В ходе исследования как фоновых ЭЭГ, так и ЭЭГ с функциональными пробами, которые выполняются при решении испытуемыми логических или образных задач, была показана высокая информативность подхода, основанного на анализе с использованием вейвлет-преобразования [1, 2]. В то же время, наряду с исследованием нативных ЭЭГ, регистрируемых на различных стадиях онтогенеза как в состоянии покоя, так и при проведении функциональных проб, в норме и при патологии, с 1960-х годов широкое распространение получают

методы анализа вызванных потенциалов (ВП) головного мозга — специфических электрофизиологических феноменов, связанных с реакцией мозга на внешние или внутренние стимулы, а также на изменение его состояния, предшествующее передаче команды на орган-эффектор.

Цель настоящей работы — определение возможности применения разработанных ранее [3—5] методов анализа ЭЭГ на основе использования свойств цепочек локальных максимумов (ЦЛМ) матриц квадратов коэффициентов непрерывного вейвлет-преобразования для анализа вызванных потенциалов головного мозга.

### 1. Особенности анализа ЭЭГ на основе вейвлет-преобразования

В настоящей работе проводился эксперимент, блок-схема которого представлена на рис. 1.

Для обработки данных эксперимента использовали непрерывное вейвлет-преобразование в виде [6, 7]:

$$W(a, b) = 1/\sqrt{a} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (1)$$

где  $f(t)$  — анализируемые данные, зависящие от времени  $t$ ;  $\Psi$  — вейвлет;  $a$  и  $b$  — параметры масштаба и времени для вейвлет-преобразования;  $a, b \in \mathbf{R}$ ;  $a > 0$ .

Вейвлет-преобразование является инструментом для разделения исследуемых данных (или функций) на составляющие с разными частотами, каждая из которых может затем изучаться с разрешением, соответствующим определенному масштабу. Как известно [7], использование вейвлет-преобразования имеет преимущество по сравнению с другими распространенными видами преобразований, прежде всего, за счет свойства частотно-временной локализации вейвлета. Вейвлет-преобразование, представляющее собой "временную развертку" спек-

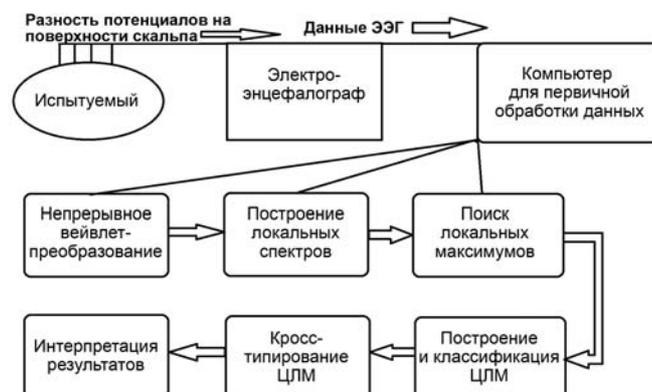


Рис. 1. Блок-схема эксперимента

тра, позволяет получать локализованную во времени энергетическую информацию.

Результатом вейвлет-преобразования является матрица вейвлет-коэффициентов  $W(a_l, b_m)$ , отражающая степень "присутствия" определенной частоты в общей структуре сигнала в конкретный момент времени (индекс  $l$  характеризует номер масштаба, а  $m$  — номер отрезка времени).

Определим скейлограмму  $V_{ij}(a_l)$  на временном отрезке  $[b_i, b_j]$  как

$$V_{ij}(a_l) = \frac{1}{N} \sum_{m=i}^j (W^2(a_l, b_m)), \quad (2)$$

где индексы  $i$  и  $j$  ( $i, j < N; j > i$ ) характеризуют частотный диапазон исследуемого процесса.

Являясь функцией масштаба  $a_l$ , скейлограмма  $V_{ij}(a_l)$  включает в себя ту же информацию, что и спектральная плотность мощности (СПМ) преобразования Фурье, которая является функцией частоты.

Скейлограммы  $V_{ij}(a_l)$  можно построить на малых временных отрезках (например 0,05...0,1 с), что позволяет детально изучать динамику процессов, отражаемых на ВП.

В настоящей работе эксперименты проводили с 21 испытуемым обоего пола в возрасте от 19 до 24 лет. Зрительные вызванные потенциалы (ЗВП) были получены при частоте фотостимуляции 2,5 Гц, стимулирующий фотодиод располагался на расстоянии 1 м от глаз испытуемых. Регистрация ЗВП осуществлялась электроэнцефалографом "Нейрон-Спектр 4-ВП" в отведении  $OZ$  с частотой дискретизации 5 кГц.

Вызванный потенциал определялся путем когерентного накопления при не менее чем 300 фотостимуляциях.

Результаты выделения ЗВП и контрольного эксперимента подвергались непрерывному вейвлет-преобразованию с использованием вейвлетов Morlet и WAVE и по ним были получены значения элементов матрицы квадратов вейвлет-коэффициентов. С шагом в один отсчет (200 мкс) строился набор локальных спектров, в которых определялись минимумы и максимумы.

## 2. Результаты экспериментальных исследований

На рис. 2 представлены результаты для случая, когда накопленный ЗВП был получен в ходе двух экспериментов с одним и тем же испытуемым, а также данные контрольного эксперимента, когда испытуемый смотрел на фотодиод, который был отключен и не проводил фотостимуляции.

По правилу  $k/\Delta b \rightarrow 1$  (где  $\Delta b$  — разность порядковых номеров локальных

спектров окончания и начала ЦЛМ;  $k$  — число входящих в нее точек) строились ЦЛМ. Суть этого правила в том, что оно дает возможность, с одной стороны, выделить конкретную ЦЛМ, а с другой стороны, избежать неправомерного объединения таких ЦЛМ в более длинную цепочку, при которой между ними наблюдаются частотно-временные области без локальных максимумов.

Используя это правило, по аналогии с таким же правилом для обработки фоновой ЭЭГ, получено выражение для логической функции  $f(a, b)$  принятия решения о включении (или не включении) локального экстремума с координатами  $(a_i, b_j)$  в конкретную ЦЛМ:

$$f(a_i, b_j) = \begin{cases} 1, & (a_i \in [a_{i-1} - (va_s + u), a_{i-1} + (va_s + u)]) \wedge \\ & \wedge (b_j \in (b_{j-1}, b_{j-1} + (va_s + u)]); \\ 0, & (a_i \in [a_{i-1} - (va_s + u), a_{i-1} + (va_s + u)]) \vee \\ & \vee (b_j \in (b_{j-1}, b_{j-1} + (va_s + u)]), \end{cases} \quad (3)$$

где  $a_{i-1}$  — масштаб локального максимума конечной точки ЦЛМ, ближайшей по масштабу к предполагаемому для включения в ЦЛМ локальному максимуму;  $b_{j-1}$  — время (или номер отсчета, номер скейлограммы) конечной точки ЦЛМ, ближайшей по времени (номеру отсчета, номеру скейлограммы) к аналогичному значению предполагаемого для включения в ЦЛМ локального максимума;  $a_s$  — значение масштаба первой точки формирующейся ЦЛМ. Константы  $u$  и  $v$  получены при использовании правила  $k/\Delta b \rightarrow 1$  и при наибольших для данного диапазона масштабов значений  $k$ . Для вейвлетов Morlet и WAVE  $u = 3$  и  $v = 0,05$ , что аналогично значениям, полученным при анализе фоновой ЭЭГ.

Таким образом, можно сделать вывод, что амплитудно-частотные характеристики электроэнцефалограмм и ЗВП, полученные путем обработки данных с применением непрерывного вейвлет-преобразования и используемые для построения цепочек локальных максимумов, близки по своим свойствам.

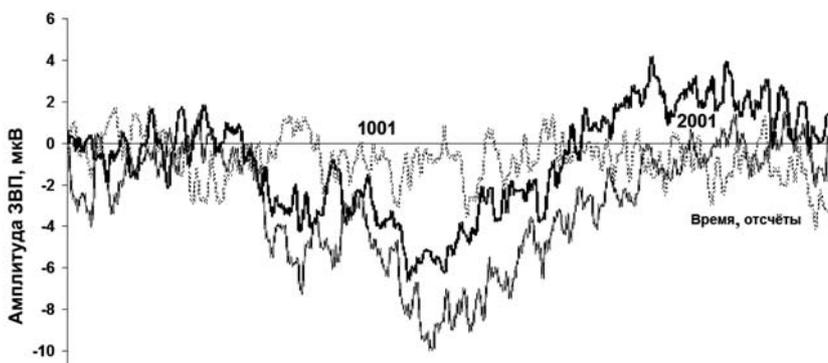


Рис. 2. Изменение амплитуды ЗВП (мкВ) от времени (числа отсчетов), прошедшего от начала действия стимула (один отсчет равен 200 мкс). Две черные сплошные линии — значения амплитуд ЗВП, накопленных в двух экспериментах, проводимых с одним испытуемым; пунктирная линия — результат контрольного эксперимента с испытуемым без фотостимуляции

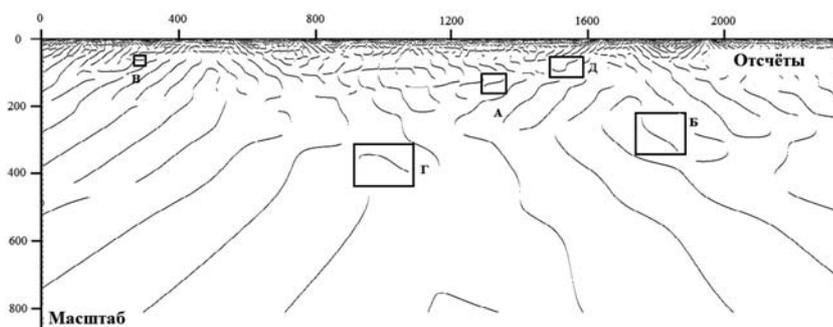


Рис. 3. Цепочки локальных максимумов, построенные на основе матрицы квадратов вейвлет-коэффициентов при анализе одного из ЗВП (имеющего выраженный положительный пик в первые 500 отсчетов от подачи стимула), изображенного на рис. 2. По оси абсцисс — отсчеты (один отсчет — 200 мкс), по оси ординат — масштаб вейвлет-преобразования

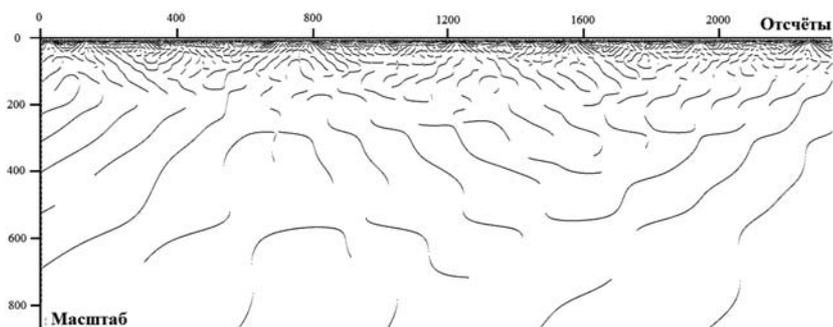


Рис. 4. Цепочки локальных максимумов, построенные на основе матрицы квадратов вейвлет-коэффициентов при анализе результатов контрольного эксперимента, изображенных на рис. 2. По оси абсцисс — отсчеты (один отсчет — 200 мкс), по оси ординат — масштаб вейвлет-преобразования

Рассмотрим динамику цепочек локальных максимумов применительно к ЗВП. Полученные результаты будем сравнивать с показателями контрольного эксперимента (рис. 3, 4).

### 3. Классификация ЦЛМ, полученных на основе данных зрительных вызванных потенциалов

Проведем классификацию частот встречаемости различных типов ЦЛМ в общем числе наблюдаемых феноменов.

Будем считать, что по аналогии с результатами, полученными ранее [3–5] при анализе фоновой ЭЭГ, в частотном пространстве имеются следующие типы ЦЛМ.

1. ЦЛМ, стабильно растущая по частоте (рис. 3, область А). Анализ динамики изменения во времени частоты ЦЛМ этого типа позволяет предположить наличие у него нескольких подтипов, связанных с динамикой дрейфа ЦЛМ в частотном пространстве: линейной или нелинейной.

2. ЦЛМ, стабильно убывающая по частоте (рис. 3, область Б). Как и для первого типа, для него характер убывания значений локальных максимумов в частотной области достаточно сильно различается внутри данного типа.

3. ЦЛМ, практически не изменяющая своей частоты в частотном пространстве (рис. 3, область В).

Такой результат может быть получен в случае, если осциллятор (или группа осцилляторов) в процессе, происходящем в головном мозге, не увеличивает и не уменьшает своей частоты в пределах диапазона разрешающей способности используемого вейвлета.

4. ЦЛМ, демонстрирующая сначала рост частоты локальных максимумов, а потом ее уменьшение, при том, что завершиться она может как на более высокой, так и на более низкой частоте по сравнению с начальной (рис. 3, область Г).

5. ЦЛМ, в которой частота локальных максимумов первоначально уменьшается при последующем ее росте. Как и для предыдущего типа, отношение частот начала и завершения ЦЛМ может быть различным (рис. 3, область Д).

Проведенные исследования показали, что применительно к показателям  $W^2(a, b)$  типы динамики ЦЛМ являются аналогичными вышеуказанным.

1. ЦЛМ, стабильно нарастающая по энергии. Можно предположить, что осциллятор или группа осцилляторов, порождающих данный тип ЦЛМ, существенно увеличивает свою активность с течением времени, что выражается увеличением в исследуемом

сигнале амплитуды определенной частоты. Данные ЦЛМ были выделены и для фоновой ЭЭГ [3–5], например в реакциях синхронизации: при переходе от высокочастотного  $\beta$ -ритма к низкочастотному  $\alpha$ -ритму.

2. ЦЛМ, стабильно убывающая по энергии. По аналогии с типом 1, характер убывания значений  $W^2(a, b)$  локального максимума связан с обратным по отношению к указанному в пункте 1 процессу — появлением на кривой ЗВП низкоамплитудных колебаний определенной частоты.

3. ЦЛМ, практически не изменяющаяся по энергии. Это означает, что осциллятор (или группа осцилляторов) в головном мозге не увеличивает и не уменьшает своей мощности, т. е. не изменяет вклада в амплитуду сигнала ЗВП. С учетом особенностей вейвлет-преобразования ЭЭГ и ЗВП, связанных с высокой разрешающей способностью по амплитуде сигнала, данный тип ЦЛМ при обработке нативной ЭЭГ не был зарегистрирован. Он появляется лишь после искусственного введения так называемого "нулевого коридора" — диапазона отклонения величин  $W^2(a, b)$  в обе стороны от начальных значений. При этом считается, что начальная и конечная энергия ЦЛМ не изменились.

4. ЦЛМ, демонстрирующая сначала рост энергии сигнала, а потом ее уменьшение, при том, что завершиться она может как на более высоком, так и на

более низком значении энергии по отношению к начальному.

5. ЦЛМ, демонстрирующая уменьшение энергии с последующим ее ростом. Как и для предыдущего типа, отношение значений энергии начала и завершения ЦЛМ может быть различным.

Установим теперь, можно ли в матрице квадратов вейвлет-коэффициентов  $W^2(a, b)$ , полученной при анализе ЗВП, определить такие же типы ЦЛМ, какие были выделены для фоновой ЭЭГ, каковыми будут их частоты встречаемости и как они будут соотноситься друг с другом.

Рассмотрим различия в динамике типов ЦЛМ применительно к ЗВП и к контрольному исследованию. Для этого проведем кросс-табуляцию исследуемых значений частот встречаемости ЦЛМ различных типов (см. таблицу). При этом тип ЦЛМ, характеризующийся объединением частотного и энергетического типов, будем называть "кросс-типом".

Из представленной таблицы следует, что для частотных типов структура распределения ЦЛМ в целом соответствует таковой для фоновой ЭЭГ: в ней доминируют типы 1 и 2 ЦЛМ, тем временем, как для энергетических — превалируют типы 4 и 5, что довольно редко встречается для фоновых ЭЭГ.

Получаемые частоты встречаемости тех или иных типов ЦЛМ анализировали попарно (для ЗВП и соответствующего ему кросс-типа ЦЛМ для контрольного эксперимента) с использованием  $\chi$ -критерия [8]. Вводили поправку на эффект множественных сравнений [8]. Полученные результаты представлены на диаграмме (рис. 5). Видно, что число кросс-типов ЦЛМ существенно и статистически значимо различается в структуре матрицы квадратов вейвлет-коэффициентов, полученных при анализе ЗВП и в контрольном эксперименте.

Для частотного типа 1 (с последовательно нарастающей частотой ЦЛМ, отражающей рост активности порождающего ее осциллятора и/или группы осцилляторов) характерно значимое увеличение

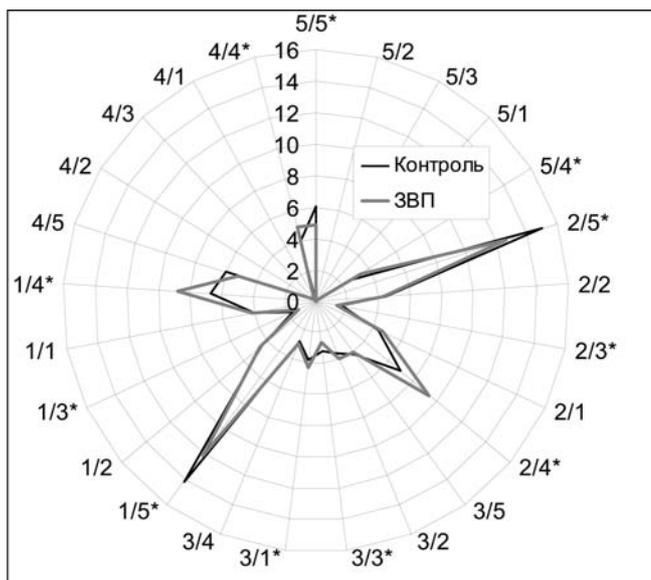


Рис. 5. Диаграмма частот встречаемости различных кросс-типов ЦЛМ, полученных при анализе ЗВП, а также для контрольных экспериментов. Радиальные оси соответствуют кросс-типам ЦЛМ (в числителе у осей указан тип ЦЛМ по частоте, в знаменателе — тип ЦЛМ по энергии). По циркулярным осям отложены частоты встречаемости данного типа ЦЛМ (в % от их общего числа в данном эксперименте). Звездочкой (\*) отмечены варианты со статистически значимыми различиями для ЗВП и контрольных экспериментов при  $p < 0,01$

числа ЦЛМ энергетического типа 4 по сравнению с контрольным экспериментом на фоне уменьшения числа ЦЛМ типа 3 и 5. Для частотного типа 2 динамика схожая: снижается число ЦЛМ, относимых к типам 3 и 5, а их представительство в общем числе типа 4, наоборот, возрастает. Для частотного типа 3 характерно увеличение представительства ЦЛМ энергетического типа 1 и снижение числа ЦЛМ энергетического типа. 3. Для частотных типов 4 и 5 характерно увеличение доли представительства ЦЛМ энергетического типа 4, что отражает сложную динамику поведения сигнала ЗВП, включающего несколько различных по амплитуде и частоте волновых компонентов.

Результаты кросс-табуляции, полученные при анализе частот встречаемости различных типов ЦЛМ в зрительном вызванном потенциале (в ячейках таблицы указаны частоты встречаемости ЦЛМ определенного типа)

| Классификация по частотным типам | Классификация по энергетическим типам |       |       |       |       | Всего  |
|----------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                                  | Тип 1                                 | Тип 2 | Тип 3 | Тип 4 | Тип 5 |        |
| Тип 1                            | 1019                                  | 1135  | 310   | 2157  | 3020  | 7641   |
| Тип 2                            | 1144                                  | 1042  | 331   | 2317  | 3115  | 7949   |
| Тип 3                            | 1045                                  | 973   | 657   | 727   | 995   | 4397   |
| Тип 4                            | 69                                    | 75    | 22    | 1197  | 1282  | 2645   |
| Тип 5                            | 30                                    | 32    | 26    | 826   | 1192  | 2106   |
| Всего                            | 3307                                  | 3257  | 1346  | 7224  | 9604  | 24 738 |

## Заключение

В ходе проведенного в настоящей работе исследования имеющиеся разработанные ранее методы в области анализа цепочек локальных максимумов матрицы квадратов коэффициентов непрерывного вейвлет-преобразования [3–5], созданные для анализа фоновой ЭЭГ человека и животных в различных функциональных состояниях, были применены к новому объекту исследования — вызванным зрительным потенциалам головного мозга. Показана возможность использования всего набора алгоритмов, применяемых ранее для анализа фоновой ЭЭГ [5], к данным, полученным для зрительных вызванных потенциалов: определение правила по-

строения ЦЛМ на основе подхода  $k/\Delta b \rightarrow 1$ ; классификация ЦЛМ по основным пяти типам как для частотного, так и для энергетического пространства; оценка этих типов как по отдельности, так и с использованием кросс-типов; получение усредненных ЦЛМ по каждому из типов с использованием разработанного ранее усреднения при синхронизации по времени.

Таким образом, созданный ранее метод анализа фоновой ЭЭГ путем изучения структуры ЦЛМ и основанный на нем комплекс алгоритмов и программ [3–5] продемонстрировали свою высокую информативность и для анализа вызванных потенциалов головного мозга, что позволяет рекомендовать разработанный на его базе метод для внедрения в практику физиологических, психологических, неврологических и тому подобных исследований и в разработки, связанные с системами человеко-машинного общения.

#### Список литературы

1. Van Vugt M. K., Sederberg P. B., Kahana M. J. Comparison of spectral analysis methods for characterizing brain oscillations // Journal of Neuroscience Methods. 2007. V. 162. P. 49–63.
2. Bruns A. Fourier-, Hilbert- and wavelet-based signal analysis: are they really different approaches? // Journ. Neurosci. Methods. 2004. V. 137. P. 321–322.
3. Туровский Я. А. Программа PikWave 1.0. Зарегистрирована в Российском агентстве по патентам и товарным знакам, регистрационный № 2006613500.
4. Туровский Я. А., Семенов А. Г., Киселева Е. В., Хороших Н. В. Программа Wavemath 1.0. Зарегистрирована в Российском агентстве по патентам и товарным знакам, регистрационный № 2012614720.
5. Туровский Я. А., Кургалин С. Д., Вахтин А. А. Обработка данных ЭЭГ на основе анализа частотных зависимостей и вейвлет-преобразования // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. № 12. С. 39–45.
6. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2001. 464 с.
7. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. Т. 166, № 11. С. 1145–1170.
8. Гланц С. Медико-биологическая статистика. 1999. 459 с.

УДК 519.22:616.89-008:004.946]-057.875

**К. Д. Яшин**, канд. тех. наук, доц., зав. каф.,  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники (БГУИР),  
e-mail: yashin@bsuir.by,

**К. Н. Месяня**, врач-психиатр-нарколог,  
Центр коррекционно-развивающего обучения,  
г. Минск,  
e-mail: kira.m\_2010@mail.ru,

**С. С. Заливако**, ассистент, БГУИР,  
e-mail: zalivako@bsuir.by,

**К. М. Корневский**, студент,  
Белорусский государственный  
медицинский университет,  
e-mail: kostja\_2007@mail.ru

## Влияние виртуального мира на личность студента

*Проведен анализ факторов, способствующих формированию игровой компьютерной зависимости у студентов. Исследовано влияние определенных жанров компьютерных игр на развитие отклонений в психическом и физическом здоровье. Сделан вывод о возможности подавления симптомов игровой зависимости с помощью программной реализации интеллектуального агента.*

**Ключевые слова:** компьютерная игра, автономный виртуальный образ, студенты-геймеры, виртуальная реальность

#### Введение

Компьютерная зависимость и ее последствия представляют собой одну из проблем современного общества. Расстройства здоровья, вызванные чрезмерным использованием компьютером, носят скрытый характер вследствие недостаточной разработанности методик их выявления.

В ближайшей перспективе число пользователей персональных компьютеров в странах СНГ приблизится к среднеевропейскому показателю (60 %...70 % населения). Значительную часть этой аудитории составляют дети и подростки, а также студенты, т. е. те, кто не достиг 25 лет. Проведенные исследования в странах СНГ свидетельствуют, что компьютерная зависимость (Интернет и компьютерные игры) составляет около 15 % от числа пользователей, хотя точных данных о числе зависимых лиц не имеется [1–4]. Компьютеризация может вызывать как позитивные, так и негативные эффекты [1, 4]. Стремительное вхождение в новую компьютерную культуру может привести к психическим и поведенческим расстройствам. В ситуациях, когда пользователь не имеет целей, основанных на гуманистических принципах, во время пребывания в виртуальном мире он подвергается опасности захвата компьютерной средой по типу "стимул — реакция" вследствие пластичности психических процессов у человека. Виртуальный мир навязывает человеку свои правила игры — достижение цели любой ценой, в то время как большинство компьютерных игр имеет один алгоритм: "Убей их всех". Получаемая человеком информация в этом случае не обя-

зательно обрабатывается с позиций установления отношений между объектами и идеями, свойственных когнитивному мышлению. Моральные оценки запаздывают или блокируются. Ресурсы памяти человека задействуются формально, по механизму переключателя. В результате функция построения целостной картины познания также нарушается.

Исследования в области когнитивной психологии установили, что большая часть информации, поступающей в мозг человека, не представляет интереса или просто превосходит его способность к обработке [5]. Несомненно, это имеет место и при поступлении больших объемов информации из виртуального мира, который, в свою очередь, является продуктом реального мира.

В настоящее время выделяют шесть типов компьютерной зависимости: компьютерные игры, навязчивый серфинг, страсть к торгам и азартным играм, просмотр телесериалов, виртуальные знакомства и киберсекс. По числу пользователей первое место занимают компьютерные игры. Эмоциональная насыщенность игровой деятельности, возможность ухода в другую реальность более высокого уровня и самоутверждения в ней, а также присущий игре сакральный характер, изученный в исследованиях Й. Хейзинга [6], являются важной составной частью этого развлечения, которое по своей увлекательности значительно превосходит другие. Психологи считают, что в основе такого поведения лежит нарциссизм, изученный Э. Фроммом [7].

В этой новой для общества ситуации уже осознается тот факт, что виртуальный мир имеет свои свойства, влияние которых на человека пока мало изучено. Однако до настоящего времени не проводились исследования по изучению вероятности возникновения у пользователя, играющего в компьютерные игры (геймера), автономного виртуального образа (АВО) после выхода из игры. Согласно определению Н. А. Носова, "АВО — это образ, который может разворачиваться в виртуальную реальность независимо от выполняемой в данный момент деятельности. Он сам внутри себя разворачивается в виртуальную реальность. На первой стадии автономный виртуальный образ является ситуационным (разворачивается в определенных ситуациях). На второй стадии он является операциональным (разворачивается совершенно спонтанно и независимо от ситуации). АВО, разворачиваясь в виртуальную реальность, вызывает компульсивное (непреодолимое) желание совершить соответствующее ему действие" [8]. В психиатрии такой операциональный виртуальный образ трактуется как обман восприятия, возможно, по типу галлюциноида [9].

Только появление таких опасных симптомов, как крайние степени истощения и расстройства психики, заставляют обратиться за помощью к медикам и психологам. Ранние признаки появляющихся расстройств, как правило, не диагностируются. Нет

даже стандартизированной медико-психологической терминологии для описания компьютерной зависимости.

*Цель настоящей работы:* изучение распространенности компьютерных игр в студенческой среде технического вуза и влияние их на психическое здоровье геймеров.

Задачи включали в себя:

- теоретический анализ понятия психологической зависимости от компьютерных игр и связь ее с АВО;
- изучение влияния продолжительности игрового процесса на нарушение психофизиологических функций геймера;
- установление связи между переживаниями, индуцированными определенным сюжетом игры, и формированием АВО;
- установление связи между возникновением у геймера позитивного отношения к идее самоликвидации и наличием у него психопатологических расстройств, в том числе присутствия АВО, а также зависимость возникновения этих феноменов от игры в режиме онлайн;
- определение ведущих сознательных мотивов в выборе жанров игр геймером и их связь с желательным для него изменением психофизиологического состояния для ощущения пребывания в виртуальной реальности более высокого, приятного уровня (гратуал) [8].

*Объект исследования:* компьютерные игры в жизни студентов.

*Предмет исследования:* влияние образов виртуального мира на личность пользователей компьютерных игр.

*Гипотеза исследования* заключается в предположении, что существует связь между стадиями формирования компьютерной зависимости и возникновением психопатологических феноменов, которые развиваются в результате продолжительной игровой деятельности при определенной направленности жанров и сюжетов игр.

## Метод исследования

Для выявления игровой компьютерной зависимости и изучения влияния виртуального мира на физиологическое и психическое здоровье геймеров нами разработана специальная анкета. Исследование ориентировано на студентов, обучающихся в техническом университете. С этой целью проведено анкетирование 155 студентов с 1-го по 4-й курс. Из их числа исключены 4 человека, не игравших в компьютерные игры. Таким образом, в исследование включено 151 человек: юноши — 116 (76,8 %), девушки — 35 (23,2 %). Возраст анкетированных от 17 до 24 лет, средний возраст — 19 лет. Средняя продолжительность игрового стажа студентов составила 9 лет. Два—три года назад отказались от игр 27 чел. (17,9 %), однако все они включены в ис-

следование, так как предоставили полные сведения по всем пунктам анкеты. Кроме того, дальнейший анализ показал, что под отказом геймеры понимают сеанс игры не более двух часов и не чаще одного раза в неделю вследствие появления у них АВО и/или симптомов дисфункции центральной нервной системы (ЦНС).

### Результаты исследования

Студенты играют в игры разных типов и жанров, как правило, не ограничиваясь одним из них, но предпочтительными являются ролевые — 97 чел. (64,2 %) и одновременно стратегии — 92 чел. (60,9 %). Игру преимущественно в режиме онлайн выбирают 82 чел. (54,3 %).

Анализ установил три степени вовлеченности в компьютерные игры. Это соответствует результатам проведенных ранее исследований, которые показали, что формирование игровой психологической зависимости проходит через несколько стадий [1, 10].

1-я стадия — характеризуется легкой степенью вовлеченности. Студенты играют 1—2 раза в неделю или реже, продолжительность сеанса до 5 ч, а суммарно в течение недели — не более 10 ч. У них отсутствует непреодолимое желание отыгаться, они, как правило, не устанавливают лимит времени на игру, а в случае его установления — соблюдают; вне игры сохраняют уравновешенное состояние.

2-я стадия — формирование компьютерной зависимости, стадия условного благополучия. На этой стадии студенты играют от 3 до 6 раз в неделю с продолжительностью сеанса до 5 ч, а суммарно в течение недели не более 25...30 ч. Устанавливая лимит времени на игру, они часто уже не в состоянии его соблюдать. При прекращении игры и невозможности вернуться к ней у них развивается невротическое состояние. По окончании сеанса имеет место расстройство нервной системы, в отдельных случаях появляются кошмарные сновидения или образ виртуального мира остается зафиксированным в сознании геймера или появляется в сновидениях. Понятие "условного благополучия" подразумевает, что при отказе от игры, ужесточении контроля и сокращении времени игры появившиеся симптомы расстройства здоровья на этой стадии формирования зависимости могут исчезнуть или не будут прогрессировать в дальнейшем.

3-я стадия — стадия сформированной компьютерной зависимости. В нее включены студенты, играющие 5 раз в неделю или ежедневно с продолжительностью сеанса, как правило, более 5 ч (в некоторых случаях до суток), а суммарная продолжительность игры в течение недели колеблется от 30...40 до 100 и более часов. У геймеров сформировалось непреодолимое желание отыгаться. Соблюдать лимит времени игры они не в состоянии. При отсутствии возможности вернуться к игре



Рис. 1. Распределение респондентов по стадиям формирования компьютерной зависимости, %

у них развивается невротическое состояние. По окончании сеанса у геймеров на этой стадии, как правило, имеют место симптомы дисфункции ЦНС, в том числе продолжение игры в сновидениях, а также разворачивание ситуационного или операционального АВО.

Полученные в результате анкетирования данные проанализированы в целях определения у респондентов стадии компьютерной зависимости (рис. 1). Как видно на рис. 1, по степени вовлеченности в компьютерные игры все исследуемые разделилась примерно в равных соотношениях. Анализ показал, что 51 респондент (33,8 %) страдает зависимостью от компьютерных игр, а еще 46 чел. (30,5 %) имеют склонность к ней. Таким образом, у студентов-геймеров имеет место весьма высокий уровень зависимости, что также подтверждается и другими исследователями [2]. Распределение по гендерному признаку также представлено на рис. 1. Анализ степени вовлеченности по гендерному признаку показал ее малозначимую связанность с полом. Коэффициент сопряженности  $\phi$  оказался равным 0,124 (по таблицам сопряженности, приведенным в [11], для установления статистической связи качественных признаков, где 0 — слабая связанность, 1 — сильная). Это может свидетельствовать о тенденции к нивелированию гендерных различий.

**Факторы, характеризующие причины и степень вовлеченности в игровой виртуальный мир.** В табл. 1 представлено распределение ответов студентов по факторам, характеризующим степень их вовлеченности в игровой мир. Эти данные позволяют также оценить некоторые личностные характеристики геймеров. Как видно из табл. 1, сеанс игры у 61 чел. (40,4 %) составляет 3 ч и более, в то же время 43 чел. (28,5 %) играют ежедневно, что является важным признаком компьютерной зависимости.

Непреодолимое желание отыгаться, признак компульсивности, имеет место у 53 чел. (35,1 %) от общего числа. Если учесть факт ежедневной игры, то можно предположить утрату контроля и волевые нарушения у значительной части геймеров. Невротическое состояние при отсутствии возможности вернуться к игре характерно для 29 чел. (19,2 %) из числа опрошенных. В меньшей степени его испытывают лица, играющие ежедневно. Плохое самочув-

Таблица 1

| Фактор   | Вариант ответа                   | Число ответов |
|--|----------------------------------|---------------|
| Время игры   | 2 ч и менее                      | 90            |
|  | 3...5 ч                          | 45            |
|  | Более 5 ч                        | 16            |
| Число сеансов игры в неделю  | 1 раз в неделю и реже            | 63            |
|  | 2—3 раза в неделю                | 45            |
|  | Ежедневно                        | 43            |
| Лимит времени на сеанс игры  | Соблюдают                        | 44            |
|  | Не всегда соблюдают              | 55            |
|  | Не соблюдают                     | 52            |
| Непреодолимое желание отыгаться  | Да                               | 53            |
|  | Нет                              | 98            |
| Психологическая реакция на невозможность вернуться к игре (невротические расстройства) | Да                               | 29            |
|  | Нет                              | 117           |
|  | Другие варианты                  | 5             |
| Самочувствие после игры  | Плохое + симптомы дисфункции ЦНС | 71            |
|  | Нормальное                       | 80            |
| Переутомление характерно   | Да                               | 46            |
|  | Нет                              | 105           |

ствие после игры отметили 71 чел. (47 %), в том числе такие симптомы дисфункции ЦНС, как тошноту, головную боль и цветные пятна перед глазами, а также оцепенение или агрессивность, которые, по нашему мнению, являются важным предиктором компьютерозависимого поведения. Часть геймеров — 23 чел. (15,2 %), отметили наличие у себя нескольких симптомов одновременно. Переутомление испытывают 46 чел. (30,4 %) от общего числа.

Коэффициент сопряженности между числом студентов, играющих более 3 ч в сеанс, и числом лиц с плохим самочувствием и симптомами дисфункции ЦНС после игры равен 0,389. Относительно невысокий показатель связи между продолжительностью сеанса игры и наличием психопатологических расстройств у геймеров, возможно, свидетельствует об ограниченности подхода к оценке компьютерной зависимости только по первому

Таблица 2

| Фактор  | Вариант ответа              | Число ответов |
|---|-----------------------------|---------------|
| Цель действий виртуального образа             | Защита                      | 61            |
|   | Подавление                  | 41            |
|   | Первенство и ориентирование | 42            |
|   | Остальные                   | 7             |
|   |                             |               |
| Возможность самовыражения в компьютерной игре | Да                          | 29            |
|   | Нет                         | 122           |
| Равнодушие к агрессии                         | Да                          | 33            |
|   | Нет                         | 118           |

признаку. В дальнейших исследованиях необходимо изучение влияния жанров и сюжетов игр на функции высшей нервной деятельности человека.

В табл. 2 представлено распределение ответов студентов по факторам, характеризующим психологические мотивы увлечения компьютерными играми.

Как видно из табл. 2, стремление к проявлению покровительства, спасению и защите других проявляют в игре 61 чел. (40,4 %), 42 чел. (27,8 %) реализуют свою потребность в достижении первенства, а 41 чел. (27,2 %) стремятся к подавлению и подчинению других, что имеет место и в играх по достижению первенства. Следует отметить, что из 61 чел., стремящихся к спасению и защите других, 16 чел. для достижения такой цели применяют насилие и уничтожение в виртуальном мире, указывая на чувство удовлетворения при этом и "много адреналина". Равнодушие к агрессии и насилию в играх испытывают 33 чел. (21,9 %) от общего числа респондентов.

Подавляющее большинство студентов — 122 чел. (80,8 %) не видят в компьютерной игре возможности для самовыражения — это позволяет предположить, что игра для них стала обыденной реальностью и частью повседневной жизни.

**Анализ переживаний, индуцированных определенным жанром или сюжетом игры, и их связь с формированием психопатологических расстройств, включая АВО.** Результаты анализа представлены на рис. 2.



Рис. 2. Распределение респондентов по типам расстройств, %

Как видно на рис. 2, психопатологический феномен АВО имеет место у 22 чел. (14,6 %) из числа опрошенных. Он зарегистрирован у студентов всех четырех курсов. АВО, разворачиваясь в реальной окружающей среде, проявляется после выхода из игры в зрительной и слуховой сфере восприятия геймера: "образ из игры сидит, ходит, разговаривает".

У четверых студентов 1-го курса (17...18 лет) он приобрел более высокую иерархию, они отметили у себя "образ из игры управляет мною". Еще у пяти человек "появилось навязчивое желание совершить в жизни то, что делал в процессе игры". Кроме того, вышеуказанные девять студентов отметили, что после выхода из игры ощущают в руке оружие, которым их герой действовал в виртуальном мире. Стратегии и экшен-слэшеры в группе лиц с присутствием АВО предпочитают 20 чел., а 14 чел. пред-

почитают игры с применением насилия, испытывая при этом удовлетворение, "много адреналина" и сексуальное возбуждение. Это позволяет предположить, что агрессивные жанры игр являются одним из предрасполагающих факторов формирования АВО. Вследствие подавления психической деятельности геймера герой компьютерной игры в его восприятии приобретает автономность в окружающей среде с возможностью вербального контакта с ним и наделяется особыми свойствами вплоть до ощущения насильственного воздействия на геймера по типу "образ из игры управляет мной". Это можно расценить как признак утраты контроля своих психических процессов. Кроме того, у 28 (18,5 %) студентов имеют место другие симптомы дисфункции ЦНС. Анализ таблиц сопряженности по двум признакам — симптомы, свидетельствующие о третьей стадии компьютерной зависимости, а также симптомы дисфункции ЦНС, включая феномен АВО — установил коэффициент сопряженности ф равным 0,96. Это говорит о высокой степени зависимости между признаками.

**Анализ влияния феномена самоликвидации в игре на психику геймера.** Существенным моментом ролевой игры является возможность самоликвидации. Следует отметить, что геймеры понимают самоликвидацию как такой акт в виртуальном мире, который может принести пользу команде в процессе набирания очков в том случае, если его действия в ней будут неуспешными и обременительными. Нами проведен анализ влияния этого феномена игрового процесса на психику студентов (рис. 3). Как видно на рис. 3, в исследуемой группе для 120 чел. (79,5 % от общего числа) неприемлема идея самоликвидации, инициируемая сюжетом игр. Положительный ответ на вопрос "притягивает ли Вас возможность самоликвидации?" дали 23 чел. (15,2 %). Из них 17 человек предпочитают игру в режиме онлайн, т. е. в команде, причем предпочтения здесь отдаются жанрам с применением насилия. Анализ показал, что у восьми студентов из указанных 23 чел. имеет место АВО после игры. В то же время из 120 чел., отрицающих притягательность самоликвидации, АВО появляется только у 14 чел., т. е. в три раза меньше. Это позволяет сделать вывод,



Рис. 3. Распределение респондентов в зависимости от отношения к самоликвидации в играх, %

что разворачивание АВО создает высокую угрозу для формирования разрушительных тенденций в психическом здоровье. Кроме того, еще 10 чел. из 23 в анализируемой группе имеют другие виды психопатологических расстройств в виде продолжения игры в сновидениях, фиксирования виртуального образа в сознании и т. п.

Таким образом, прослеживается связь между возникновением позитивного отношения к идее самоликвидации, навязываемой правилами игры, и формированием психопатологических расстройств, которые имеют место у 18 человек из 23 (78,3 %) в этой группе.

**Анализ влияния переживаний, индуцированных определенным сюжетом игры, на психофизиологическое состояние геймера.** На рис. 4 представлено распределение типов эмоциональных реакций у геймеров, предпочитающих игры с красочными сценами насилия в жанре экшен-слэшеров. Как видно на рис. 4, группа лиц, никогда не игравших в игры с такими сюжетами, отказавшихся и испытывающих отвращение к ним, составила 68 чел. (45 % от общего числа). Однако, даже испытывая отвращение к таким сценам или равнодушие, некоторые геймеры продолжают в них играть. Анализ показал, что 50 чел. (33,1 %) из общего числа (юноши — 34,5 %, девушки — 25 %) увлекаются такой тематикой, испытывая при этом удовлетворение и эмоциональное возбуждение. Особенная увлеченность подобными сюжетами обнаружена у студенток 1-го курса обучения — 8 чел. из 25 (32 %). В то же время некоторые из девушек продолжают игру до полного изнеможения, а по окончании сеанса у них имеют место такие симптомы дисфункции ЦНС, как агрессия, раздражение, головная боль, тошнота, рвота, бессонница и тревога. Из общего числа лиц, предпочитающих сюжеты с красочными сценами насилия, 20 чел. отметили наличие у себя одновременно нескольких симптомов после выхода из игры, что свидетельствует о патогенном воздействии таких жанров на их здоровье. Другие игры типа квестов и симуляторов, согласно ответам, способствуют расслаблению со снятием напряжения и усталости.

Таким образом, результаты исследования показали, что имеет место массовое злоупотребление

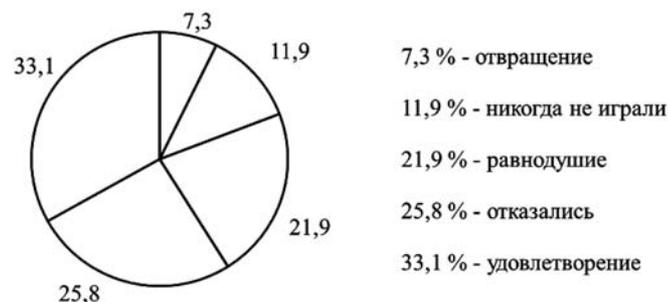


Рис. 4. Типы эмоциональных реакций геймеров на сюжеты экшен-слэшеров, %

играми со сценами насилия — 33 % от общего числа опрошенных студентов сознательно выбирают такие сюжеты в целях достижения самоудовлетворения и эмоционального подъема.

### Предложения и рекомендации

Результаты проведенного исследования позволяют предположить, что у лиц с уже сформированной компьютерной зависимостью на первом этапе имеет место появление образов виртуального мира в сновидениях и фиксирование их в сознании. Это можно расценить как формирование образа с более высокой иерархией, который подавляет личность самого геймера. На последующих этапах эта иерархия виртуального образа может переходить в новое качество — автономный виртуальный образ.

Одним из возможных вариантов для предотвращения серьезных последствий игровой зависимости у геймеров является программная реализация интеллектуального агента, который осуществлял бы эту деятельность. Агент — открытая, активная, целенаправленная система, которая способна формировать собственное поведение в зависимости от сложившейся ситуации в не полностью определенной среде [12]. В случае критической ситуации воздействия образов виртуального мира на психику геймера такой интеллектуальный агент может приобретать более высокую иерархию по отношению к пользователю в сравнении с героем игры. В планируемой реализации агент должен будет решать следующие задачи:

- осуществлять показ заранее сформированных когнитивных образов в различные моменты игры в целях предотвращения формирования у геймера алгоритма формирования автономного виртуального образа;
- накапливать знания о пользователе и корректировать свое поведение в зависимости от складывающейся ситуации.

### Заключение

Бурное развитие информационных технологий вследствие их приоритетности использования в современной жизни, несомненно, влечет за собой и нарушения в сфере психической деятельности, что потребует планомерных и систематических исследований в этой области. В группу риска входят не только лица с любительским использованием, но и те, кто работает в сфере компьютерных технологий в связи с высокой угрозой развития у них профессиональных заболеваний.

В проведенном нами исследовании получила подтверждение гипотеза, что психопатологический феномен автономного виртуального образа и другие расстройства психической деятельности у геймера имеют место в случаях сформированной компьютерной зависимости, как правило, при большом стаже игры и преимущественно в жанры стратегий и экшен-слэшеров.

### Список литературы

1. Юрьева Л. Н., Больбот Т. Ю. Компьютерная зависимость: формирование, диагностика, коррекция и профилактика. Днепропетровск: Пороги, 2006. 196 с.
2. Войскунский А. Е. Вместо предисловия: "за" и "против" Интернет-зависимости // Интернет-зависимость: психологическая природа и динамика развития. М.: Акрополь, 2009. С. 5—22.
3. Желдак О. И. Компьютерная зависимость школьников. Сравнительный анализ за 2005—2006 годы // Актуальные проблемы современной медицины. 2006. Ч. 1. С. 157—159.
4. Егоров А. Ю. Нехимические зависимости. СПб.: Речь, 2007. 190 с.
5. Солсо Р. Когнитивная психология. СПб.: Питер, 2006. 589 с.
6. Хейзинга Й. Человек играющий. СПб.: Изд-во Ивана Лимбаха, 2011. 416 с.
7. Фромм Э. Бегство от свободы. Минск: Поппури, 1998. 672 с.
8. Носов Н. А. Виртуальная психология. М.: Аграф, 2000. 430 с.
9. Большая медицинская энциклопедия. М.: Сов. энц., 1976. 560 с.
10. Иванов М. Влияние ролевых компьютерных игр на формирование психологической зависимости человека от компьютера // Психол. журн. 2003. Т. 24. № 2. С. 10—14.
11. Айвазян С. А., Енюков В. М., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: Исследование зависимости.: Справ. изд. М.: Финансы и статистика, 1985. 487 с.
12. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациями. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 004.384

**О. А. Коновалов**, канд. техн. наук,  
e-mail: oleg-070707@yandex.ru,

**К. А. Малыков**, канд. техн. наук, доц.,  
ВУНЦ ВВС "Военно-воздушная академия",  
г. Воронеж,

**Ю. С. Сербулов**, д-р техн. наук, проф.,  
Воронежская государственная  
лесотехническая академия

## Обобщенная классификация ресурсов в технологических проектах

*Рассмотрены научные аспекты классификации ресурсов. Предложена обобщенная классификация ресурсов применительно к теории управления проектами. Рассмотрены подходы к оценке некоторых видов ресурсов.*

**Ключевые слова:** классификация ресурсов, проект, виды ресурсов, управление

### Введение

В ряде постановок задач многопроектного управления ресурсами и оценок их эффективного распределения имеет место неоднозначность при определении видов управляемых ресурсов, а соответственно, методов управления и методик практической реализации. Следствием недостоверных оценок распределений ресурсов являются: трудоемкий перебор вариантов их распределений; потеря управления на стадии планирования; оптимизация сетевых моделей без календарной увязки сроков; отсутствие возможности реализации в комплексе функций контроля, управления и прогнозирования процесса распределения ресурсов в реальном времени. Причинами этого являются отсутствие общепринятого определения ресурсов и единого подхода к их логико-математическому моделированию [1].

В данной работе систематизируются известные подходы к классификации ресурсов применительно к теории управления проектами (УП), а также рассматриваются подходы к их оценке.

### 1. Анализ научных аспектов классификаций ресурсов

В общем случае к ресурсам (от франц. *ressource* — вспомогательное средство) относятся материалы, денежные средства, запасы, источники средств, трудозатраты, физические единицы и т. д. [2, 3].

В настоящее время в литературе рассмотрены различные аспекты классификации ресурсов. Так, например, экологический подход базируется на понятии "интегральный ресурс", который включает все материальные, трудовые и природные ресурсы, причем последние принято классифицировать по трем основным признакам: использованию ресурсов в производстве, степени истощаемости и источникам их происхождения [4, 5].

В экономической теории авторы единого мнения не придерживаются и классифицируют ресурсы по-разному. В общем случае авторы современного экономического словаря трактуют экономические ресурсы как "фундаментальное понятие экономической теории, означающее источники, средства обеспечения производства" [6]. При этом одни авторы экономические ресурсы делят лишь на материальные и людские [7], другие, относя их к факторам производства, — на природные, трудовые, капитальные, предпринимательские способности и знания [8], третьи — на природные, материальные, финансовые и трудовые [9], четвертые подразделяют их на материальные, капитальные и людские [10], пятые, рассматривая ресурсы организации, классифицируют их на человеческие, капитальные, материальные, технологические и информационные [11].

Авторы современных энциклопедических изданий различают экономические (материальные, трудовые, финансовые) и природные ресурсы [12], а согласно терминологии современного экономического словаря экономические ресурсы следует подразделять на природные, трудовые, капитальные, оборотные средства, информационные и финансовые [6]. Однако и такое деление не является строго однозначным.

В экономико-математических моделях рассматривают следующие виды ресурсов: природные, средства производства, трудовые, конечных потребительских благ, информационные, финансовые и внешние [13].

В социально-экономических системах ресурсы принято разделять на природные, человеческие и

ресурсы, произведенные человеком. При этом труд как вид экономических ресурсов характеризует трудовой потенциал человека или коллектива в процессе производства благ и ресурсов [14].

В разделах экономической географии рассматриваются в основном природные ресурсы [15], подразделяемые по одним признакам на топливно-энергетические, металлорудные, горно-химические, земельные, водные и биологические ресурсы [16], по другим признакам на минеральные, энергетические, лесные, реакционные и климатические ресурсы [17].

В теории УП классификация ресурсов сведена к разделению их на две взаимосвязанные группы: материально-технические и технологические ресурсы. При этом обе эти группы ресурсов сводятся к двум основным типам, а именно: 1) невозпроизводимым, складываемым, накапливаемым; 2) воспроизводимым, нескладываемым и ненакапливаемым [18].

В контексте технологических систем ресурсы подразделяют на однородные и разнородные [2], а с материальной точки зрения ресурсы имеют дискретную, непрерывную и смешанную шкалу интенсивности [19].

Таким образом, единого подхода к классификации ресурсов не существует, и разработанные подходы в этом направлении позволяют систематизировать научные аспекты в задачах распределения ресурсов в проектах.

## 2. Обоснование и разработка обобщенной классификации ресурсов

Все ресурсы предлагается различать по категориям: *природные, информационные и экономические*, а последние, в свою очередь, подразделять на *материально-технические, трудовые и финансовые* ресурсы.

В общем случае множество ресурсов  $R$ , задействованных для реализации проекта, можно представить в виде кортежа:

$$R = \langle R_{\text{п}}, R_{\text{и}}, R_{\text{э}}, R_{\text{ф}}, R_{\text{м.т}}, R_{\text{т}} \rangle,$$

где  $R_{\text{п}}$  — природные ресурсы;  $R_{\text{и}}$  — информационные ресурсы;  $R_{\text{э}}$  — экономические ресурсы;  $R_{\text{ф}}$  — финансовые ресурсы;  $R_{\text{м.т}}$  — материально-технические ресурсы;  $R_{\text{т}}$  — трудовые ресурсы.

Все виды ресурсов описываются множеством параметров, которые могут иметь как количественное выражение, так и качественное. Вследствие большого числа параметров на практике возникают проблемы систематизации (классификации) и управления ресурсами в реальном времени. А так как количество ресурсов в системе всегда ограничено, то существует конфликт между действиями при их распределении, который должен разрешаться посредством оперативного управления ресурсами [20].

Таким образом, для каждого вида ресурсов необходима определенная систематизация параметров, что позволяет сформулировать следующий ряд требований: ресурсы каждого вида должны описываться одинаковым набором параметров; этот набор должен быть минимальным; выбранный набор параметров должен обеспечивать возможность принятия решений, описания операций, идентификации ресурса в системе. Исходя из этого, предлагается следующий возможный вектор параметров ресурсов:

$$E_r = \{X_r, N_r, V_r, \alpha_r, \beta_r, t_r, d_r\},$$

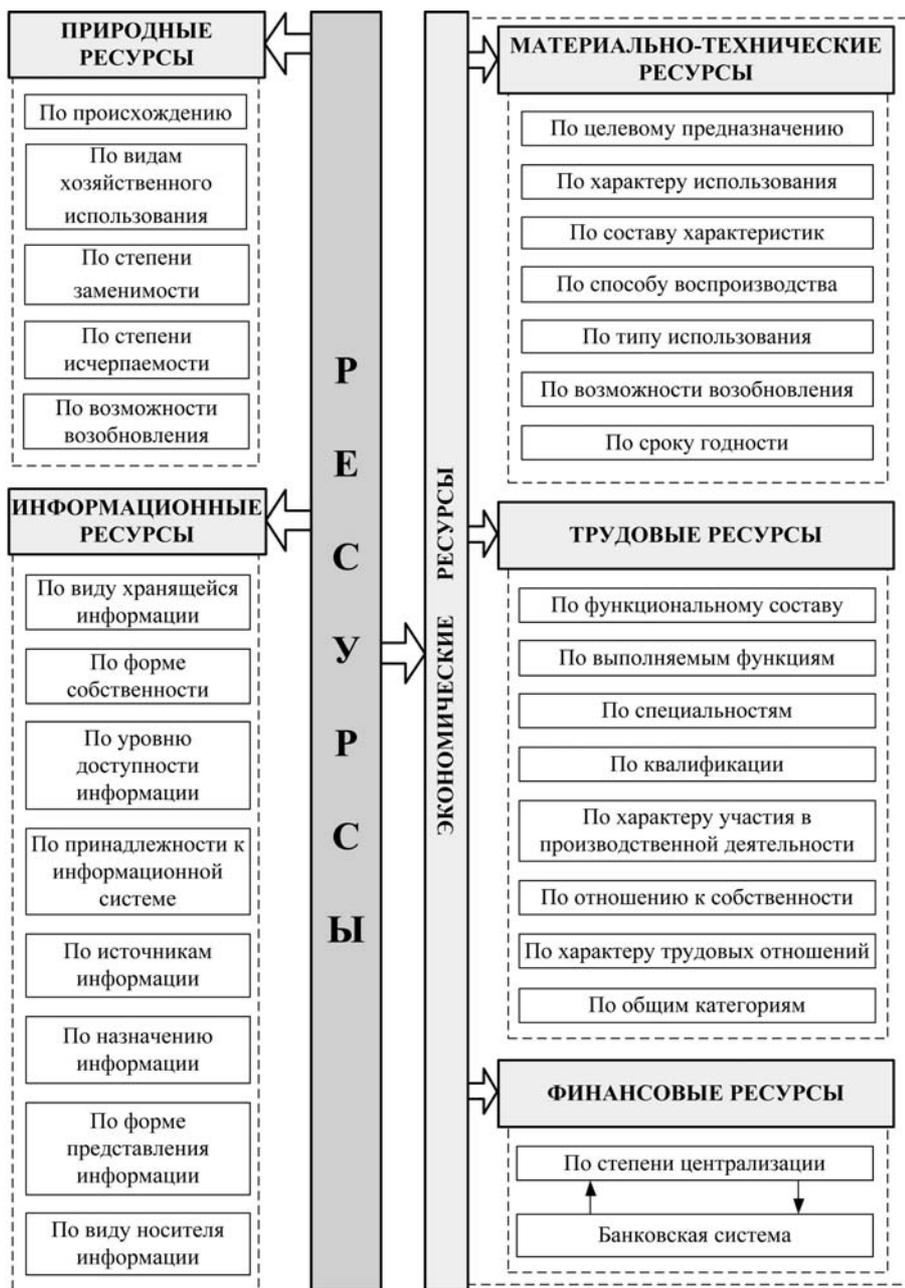
где  $X_r$  — идентификация ресурса;  $N_r$  — количество ресурсов;  $V_r$  — способность ресурса выполнить операцию;  $\alpha_r$  — доля участия в операции;  $\beta_r$  — показатель годности ресурса (исправность);  $t_r$  — планируемый период работы ресурса;  $d_r$  — загруженность ресурса.

На основе проведенного анализа существующих направлений классификации ресурсов [3–19], применительно в большей степени к теории УП, предлагается обобщенная классификация ресурсов по категориям, представленная на рисунке.

В соответствии с классификацией А. Минца [15] *природные ресурсы* по происхождению делят на две группы: ресурсы природных и природно-территориальных компонентов. По видам хозяйственного использования природные ресурсы относят к промышленному (энергетические и неэнергетические ресурсы) и сельскохозяйственному производству [17]. По степени заменимости их подразделяют на заменимые и незаменимые, а по виду исчерпаемости — на неисчерпаемые и практически исчерпаемые. Последние, в свою очередь, по степени возобновления принято подразделять на невозобновимые, возобновимые и относительно возобновимые [15, 21].

*Информационные ресурсы* по виду хранящейся информации принято разделять на общественно-политические, финансово-экономические и научные; по формам собственности — на государственные, общественные, акционерные и частные; по уровню доступности информации — на открытые, конфиденциальные и закрытые; по назначению информации — на ведомственные, региональные, массовые; по форме представления информации — графические, текстовые, цифровые, мультимедийные и др., а по виду носителей информации — на бумажные и электронные [22].

*Материально-технические ресурсы* по целевому предназначению подразделяют на одноцелевые, многоцелевые и универсальные, а по характеру использования — на производственные и непроизводственные ресурсы предприятий (в сфере обслуживания) [21]. По составу характеристик материально-технические ресурсы делят на однородные (типа мощности) и разнородные (трудовые, фи-



Обобщенная классификация ресурсов по категориям

нансовые и т. д.) [2] или на равноэффективные и разноэффективные средства [3], а по способу воспроизводства — на ресурсы, созданные трудом человека, т. е. воспроизводимые предприятием (восстановимые, возместимые) и невозпроизводимые (невосстановимые, невозместимые). В процессе планирования и управления проектом по типу использования целесообразно выделить ресурсы однократного (не повторного) и многократного (повторного) использования.

По возможности возобновления материально-технические ресурсы, как и природные, принято

подразделять на невозобновимые, возобновимые и относительно возобновимые. При этом за время выполнения проекта  $T_{пр}$  на множестве тактов планирования  $T_{п} = \{1, 2, \dots, T_{пр}\}$  невозобновимые ресурсы подразделяют по сроку годности ресурса  $\beta_r$  на складуемые (сырье, детали) и накапливаемые  $\beta_r > T_{пр}$ ; возобновимые ресурсы — на нескладуемые (персонал, транспортные средства) и неаккумулируемые  $\beta_r = 1$ , а относительно возобновимые — на частично складуемые, т. е. ресурсы с ограниченным сроком годности (скоропортящиеся продукты)  $2 \leq \beta_r < T_{пр}$  [24].

*Трудовые ресурсы* (т. е. люди с их способностью производить товары и услуги [8]) на практике классифицируют по признакам, наиболее удобным руководителям организаций. По функциональному составу персонал организации бывает административно-управленческий, торгово-оперативный и вспомогательный. По выполняемым функциям к служащим предприятий относятся: руководители, специалисты и технические исполнители [14]. Выделяют еще две классификации служащих [12]: по специальностям и по квалификации рабочих (неквалифицированные; малоквалифицированные; квалифицированные; высококвалифицированные). Известны также классификации по отношению к собственности, характеру трудовых отношений, характеру участия в производственной деятельности и др. В общем случае трудовые ресурсы

подразделяются по возрасту, стажу работы, образования, занятости и трудоспособности населения.

*Финансовые ресурсы*, как правило, подразделяют по видам: собственные (внутренние) и привлеченные (внешние), использующиеся на финансовых рынках. Однако более распространена их классификация по степени централизации: централизованные фонды (государственный бюджет, внебюджетные фонды) и децентрализованные фонды (денежные фонды организаций), которые, в свою очередь, взаимосвязаны с банковской системой — важнейшей составляющей финансовых ресурсов [23].

### 3. Математические подходы к оценке некоторых видов ресурсов

Применительно к теории УП на практике представляет интерес для оценки трудовых и материально-технических и финансовых ресурсов.

Следует отметить, что потребность в *складируемых ресурсах* задается графиком потребления ресурса, а в *нескладируемых ресурсах* характеризуется интенсивностью их использования. Например, в программном пакете *Open Plan* неиспользованные части ресурсов по истечении времени не переносятся на следующие интервалы, а выпадают из рассмотрения.

Допустим, что в технологическом проекте потребляются одни и те же *возобновимые ресурсы*. Если ресурсы проекта представить с помощью функции планового потребления  $F_{\Pi}$ , принимающей значения 1 (если ресурс потребляется) и 0 (если ресурс не потребляется), то для возобновимых ресурсов за время выполнения проекта  $T_{\text{пр}}$  справедливо:  $F_{\Pi}(T) \subset \{0, 1\}$ .

Для каждой  $p$ -й работы в системе вводится три вида функций потребления ресурсов — планового, фактического и идеального потребления как функции текущего ( $t^*$ ), системного ( $t$ ) и идеального ( $t^{**}$ ) времени соответственно  $Z_p(t^*)$ ,  $Z_p^*(t)$ ,  $Z_p^{**}(t^{**})$ .

При этом любая функция потребления может принимать только три значения: "1" — когда ресурс потребляется, "0" — когда ресурс простаивает и "−1" — когда ресурс освобождается, т. е. справедливо:  $Z_p(t^*) \in \{1, 0, -1\}$ . Для случаев потребления нескольких  $R$  ресурсов, по аналогии с функциями потребления, вводятся векторы планового, фактического и идеального потребления. Вектор планового потребления:  $Z_p(t^*) = (Z_p^1(t^*), Z_p^2(t^*), \dots,$

$Z_p^R(t^*)$ ). Векторы фактического и идеального потребления строятся таким же образом и имеют те же свойства.

Требуемое качество управления достигается при реальном предположении о поведении функций потребления. Для оценки ресурсов вводят преобразование времени  $t = F_p(t^*)$  и функцию преобразования идеального времени в плановое  $t^{**} = S_p(t^*)$ . Эти преобразования  $F_p$  и  $S_p$  "растягивают" временные оси текущего и идеального временного процесса соответственно, что объясняется возможным отсутствием ресурса в системе в нужное время.

Критерием качества считается интегральное отклонение функции идеального потребления от функции фактического потребления [25]:

$$\int_{t_1}^{t_2} \|Z_p^*(t) - Z_p^{**}(t^{**}(t))\| dt < b(t_2 - t_1), \quad (1)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  — начало и окончание времени действия управления;  $b$  — допустимая погрешность с соответствующей размерностью;  $t^{**}(t)$  — зависимость идеального времени от фактического. Подынтегральное выражение — мера вектора. Так как для функций потребления справедливо утверждение  $Z^2 = |Z|$ , то с учетом (1) получим

$$\int_{t_1}^{t_2} \{|Z_p^*(F_p(t^*))| + |Z_p^{**}(S_p(t^*))|\} - 2Z_p^{**}(S_p(t^*))F_p^*(F_p(t^*))\} \frac{dF_p}{dt} < b(t_1 - t_2).$$

Используя функцию  $DZ_p(F_p(t^*))$ , описывающую случайные факторы при распределении ресурсов, получим выражение, интерпретирующее требуемое качество управления для возобновляемых ресурсов [25]:

$$\int_{t_1}^{t_2} \tilde{Z}_p(F_p(t^*)) \frac{dF_p(t^*)}{dt^*} dt^* > \int_{t_1}^{t_2} DZ_p(F_p(t^*)) \frac{dF_p(t^*)}{dt^*} dt^* + b\Delta t - R_B \Delta t, \quad (2)$$

где  $\tilde{Z}_p(F_p(t^*))$  — некоторая реальная функция потребления ресурсов;  $R_B$  — доля возобновимого ресурса.

Для *невозобновимых* и *относительно возобновимых ресурсов* зависимости требуемого качества управления аналогичны (2).

Рассмотрим *воспроизводимые* и *невоспроизводимые ресурсы*. Обозначим  $\mathbf{C} = (c_k)$  вектор затрат ресурсов,  $k \in U$ ,  $U = \{1, \dots, u\}$ ;  $\mathbf{W} = (w_g)$  — вектор объемов производства,  $g \in G$ ,  $G = \{1, \dots, v\}$ , а сами объемы воспроизводимых и невоспроизводимых ресурсов —  $W^B$  и  $W^{H.B}$  соответственно. Множество эффективных технологий производства можно представить в виде многозначного отображения  $F(\mathbf{C})$  — общей производственной функции (ПФ), которая в отличие от структурных оптимизационных моделей представляет собой своеобразный "оптимизирующий черный ящик" [26].

В общем случае (при производстве одного вида продукции) общая ПФ вида  $w_g = f_g(C_g)$ ,  $C_g = (c_{1g}, \dots, c_{ug})$  характеризует максимальный объем выпуска продукции  $v$  в зависимости от затрат всех ресурсов  $U$ . При этом каждой точке  $c_g$  соответствует единственный максимальный выпуск  $w_g$ .

Пусть каждая работа проекта имеет свой объем  $W_p$ , а постоянная скорость ее выполнения  $p$  за время  $t_p$  выражается функцией  $w_p = W_p/t_p$ . Обозначим через  $\varphi_p(w_p)$  — функцию, обратную функции ресурсов  $f_p(U_p)$  [28]. Тогда при оценке необходимого количества воспроизводимых ресурсов  $U^B$  для за-

вершения  $p$ -й работы применимо соотношение  $U_p^B = \varphi_p^B(W_p/t_p)$ .

Следует отметить, что при оценке распределения трудовых ресурсов в проектах, на практике представляет интерес механизм взаимодействия однородных и разнородных ресурсов, а также возможность их взаимозаменяемости и взаимодополняемости на зависимых операциях графа.

Для распределения *однородных ресурсов* применяются следствия из теоремы Куна и Таккера, методы динамического программирования, а для *разнородных ресурсов* — методы двух функций и максимального элемента [26]. Для решения задач скалярной и векторной оптимизации, возникающих при исследовании мультисервисных систем, обслуживающих разнородные потоки ресурсов, используется метод Парето-оптимальных решений [2, 26]. При этом доказано, что эффективность применения разнородных ресурсов в 1,6 раза выше по сравнению с их равномерным распределением [27].

ПФ с *взаимодополняемыми ресурсами* выражается функцией

$$y = \min_{r \in R} f_r(x_r), \quad (3)$$

где  $f_r(x_r)$  — объем производства, получаемый при использовании  $r$ -го ресурса в количестве  $x_r$  при условии, что других ресурсов достаточно.

*Взаимозаменяемость ресурсов* в ПФ (3) означает, что один и тот же объем продукции можно получить при разных комбинациях ресурсов и различных затратах. Для такой ПФ характерны следующие допущения и свойства [27]:

1) если  $x = 0$ , то  $y = 0$ ;

2) если  $x^A \geq x^B$ , то  $f(x^A) \geq f(x^B)$ , причем если  $x^A > x^B$ , то  $f(x^A) > f(x^B)$ , из этого, в частности, следует, что  $y > 0$  при  $x > 0$ .

Обратная функция, характеризующая зависимости затрат от объемов производства, т. е. функция производственных затрат, определяется как

$$x_r = \varphi_r(y), \quad (r \in R),$$

где  $\varphi_r(y)$  — это минимальное количество ресурса  $r$ , которое нужно затратить для выпуска продукта в количестве  $y$ .

В макроэкономике для анализа производительности труда от фондовооруженности используют функцию Кобба—Дугласа. При этом характеристиками использования ресурсов являются средние и предельные эффективности этих ресурсов, что дает возможность получить ПФ затрат [14].

На практике интерес представляют модели функционирования неоднородных команд. Пусть команда  $K_1 = \{1, 2, \dots, n\}$  из  $n$  специалистов назначена на работы  $K_2 = \{1, 2, \dots, m\}$ . Производительность  $q$ -го специалиста при выполнении  $p$ -й работы обозначим  $\lambda_{qp}$ ,  $q \in K_1$ ,  $p \in K_2$ . Матрица  $\lambda = \|\lambda_{qp}\|$  характеризует

потенциальные возможности команды по выполнению работ. Тогда производительность  $q$ -го специалиста, производительность команды и средняя квалификация команды оцениваются соответственно как [29]

$$\gamma_q = \frac{1}{K_2} \sum_{p=1}^m \gamma_{qp}; \quad \gamma = \frac{1}{K_1 K_2} \sum_{q=1}^n \sum_{p=1}^m \gamma_{qp};$$

$$H_p = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n \gamma_{qp}, \quad p \in K_2.$$

Следовательно, взаимозаменяемость ресурсов можно учитывать посредством сочетания комбинаций взаимодополняемых ресурсов.

## Заключение

В работе предложен подход к формированию обобщенной классификации ресурсов и оценке их распределения в технологических проектах. Рассмотренная классификация найдет применение при решении задач управления, контроля, прогнозирования и распределения любых видов ресурсов в технологическом проекте, а также позволит провести их адекватную оценку в системе управления распределением ресурсов [30].

## Список литературы

1. **Коновалов О. А., Сербулов Ю. С.** Задача динамического распределения ресурсов с учетом неопределенных факторов в сложных технических системах / Математическое моделирование в технике и технологии: мат-лы Всерос. конф. с элементами научной школы для молодежи. Воронеж: Научная книга, 2011. С. 200—204.
2. **Величко С. В., Сербулов Ю. С., Лемешкин А. В.** Информационные технологии выбора и распределения ресурсов технологических систем. 2007. 238 с.
3. **Берзин Е. А.** Оптимальное распределение ресурсов и элементов синтеза систем / Под ред. Е. В. Золотова. М.: Сов. радио, 1974. 304 с.
4. **Гирусов Э. В.** и др. Экология и экономика природопользования: учеб. для вузов. М.: Закон и право: ЮНИТИ, 1998. 455 с.
5. **Князева В. П.** Экология. Основы реставрации. М.: Архитектура-С, 2005. 400 с.
6. **Райзберг Б. А., Лозовский Л. Ш., Стародубцева Е. Б.** Современный экономический словарь. М.: ИНФРА-М, 2006. 495 с.
7. **Экономическая теория:** учеб. для вузов. / Под ред. В. Д. Камаева. М.: ВЛАДОС, 2003. 592 с.
8. **Экономика:** учебник / под ред. А. С. Булатова — 3-е изд., перераб. и доп. М.: Экономистъ, 2003. 896 с.
9. **Исаева Л. А., Романова Г. Г., Шурипа Л. Р.** и др. Экономическая теория: учеб. пособие для вузов. Владивосток: Изд. Морского ГУ, 2006. 138 с.
10. **Макконнел К. Р., Брю С. Л.** Экономикс: принципы, проблемы и политика: пер. с англ. В 2 т. Т. 1. М.: РЕСПУБЛИКА, 1992. 399 с.
11. **Борисов А. Б.** Большой экономический словарь. М.: Кн. мир, 2003. 895 с.
12. **Большая советская энциклопедия.** Т. 36, 2-е изд. М.: Советская энциклопедия, 1955. 672 с.
13. **Лопатников Л. И.** Экономико-математический словарь: словарь современной экономической науки. М.: Дело, 2003. 520 с.
14. **Генкин Б. М.** Экономика и социология труда: учебник для вузов. — 6 изд., доп. М.: Норма, 2006. 448 с.

15. Минц А. А. Экономическая оценка естественных ресурсов. М.: Мысль, 1972. 303 с.

16. Желтиков В. П., Кузнецов Н. Г., Тяглов С. Г. Экономическая география. Ростов н/Д: Феникс, 2001. 384 с.

17. Максаковский В. П. Географическая картина мира: учебник для вузов. Кн. I: Общая характеристика мира. М.: Дрофа, 2008. 496 с.

18. Баркалов П. С., Буркова И. В., Глаголев А. В., Колпачев В. Н. Задачи распределения ресурсов в управлении проектами. М.: Изд. ИПУ РАН, 2002. 65 с.

19. Орел Е. Н., Орел Т. Я. Моделирование процессами управления проектами при ресурсных ограничениях И/ИЛИ // Эволюционная информатика и моделирование. М.: ИФТП, 1994. С. 165—185.

20. Горнев В. Ф., Емельянов В. В., Овсянников М. В. Оперативное управление в ГПС. М.: Машиностроение, 1990. 256 с.

21. Осипов В. А. Экономика природопользования: учеб. пособие. Тюмень: Изд-во Тюменского гос. университета, 2006. 204 с.

22. Колин К. К. Социальная информатика: учеб. пособие для вузов. М.: Академический Проспект; М.: Фонд "Мир", 2003. 432 с.

23. Ковалев В. В., Ковалев В. В. Финансы организаций (предприятий): учебник. М.: ТК Велби, Проспект, 2006. 352 с.

24. Зырянов Ю. Т., Коновалов О. А. Алгоритм распределения ресурсов по множеству зависимых операций // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. № 10. С. 10—16.

25. Луковников И. В., Коротаев К. С., Кобец А. Л. Проблемы управления распределяемыми ресурсами ОС // Информационные технологии. 2006. № 10. С. 71—78.

26. Дымарский Я. С. Задачи и методы оптимизации сетей связи: учеб. пособие. СПб: СПбГУТ, 2005. 87 с.

27. Светульников С. Г., Светульников И. С. Производственные функции комплексных переменных. М.: УРСС, 2008.

28. Бурков В. Н., Квон О. Ф., Цитович Л. А. Модели и методы мультипроектного управления. М.: Препринт, 1997. 62 с.

29. Новиков Д. А. Математические модели формирования и функционирования команд. М.: Физматлит, 2008.

30. Патент 2375750 Российская Федерация, МКИ<sup>7</sup> G 06 Q 10/00. Система рационального распределения ресурсов / Коновалов О. А., Зырянов Ю. Т., Малыков К. А. — № 2008111831/09; заяв. 27.03.08; опубл. 10.12.09. Бюл. № 34. 15 с.

## ИНФОРМАЦИЯ

Официальная поддержка:



Правительство  
Челябинской  
области



Министерство  
информационных технологий  
и связи Челябинской области



Главное управление  
министерства внутренних дел  
России по Челябинской области



Администрация  
г. Челябинска



Южно-Уральская  
торгово-промышленная  
палата

Организатор:



1<sup>ое</sup>  
Выставочное  
Объединение  
pvo74.ru

27-29  
ноября  
ЧЕЛЯБИНСК



СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

# IT-ТЕХНОЛОГИИ. СВЯЗЬ. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

- Автоматизированные системы связи
- Локальные, корпоративные и глобальные сети, IP-телефония
- Широкополосный доступ
- Оборудование для обеспечения контроля и безопасности систем и сетей связи
- Системы и аппаратура телефонной, радио, сотовой, спутниковой связи
- Средства телевидения и радиовещания, интерактивный сервис в кабельных сетях
- Мультимедийное оборудование

ВЦ «Мегаполис», Свердловский пр., 51а

Тел.: (351) 215-88-77 [www.pvo74.ru](http://www.pvo74.ru)

УДК 004

А. И. Лисин, канд. филос. наук

## К вопросу о природе информации

1. Нужно ли кого-то убеждать в том, что строго эксплицированные понятия (категории) являются основным "строительным" материалом любой заслуживающей доверия теории и в целом научного знания? Оказывается, нужно. В этом лишний раз убеждаешься, знакомясь, например, с бесчисленными определениями такого ставшего безмерно популярным в наше время понятия, как *информация*.

Казалось бы, еще в XX веке в научной литературе было глубоко обосновано понимание информации как *атрибута*, т. е. как *всеобщего свойства материи* (речь об этом пойдет ниже), тем не менее в многочисленных статьях и книгах различных авторов у нас в стране и за рубежом до сих пор продолжают тиражироваться разного рода примитивные сентенции и смехотворные фантазии по поводу природы (сущности) информации.

Например, довольно остроумно обрисовывает субъективный произвол, творящийся сегодня в теории информации, ученый из Санкт-Петербурга, автор книги "Философия информации" А. В. Соколов [1]. Пытаясь найти место понятию информации в библиотечном деле, он справедливо высмеивает существующий здесь порядок, при котором, например, "согласно ГОСТ 7.0—99", информация трактуется как "сведения, воспринимаемые человеком и (или) специальными устройствами, как отражение фактов материального или духовного мира в процессе коммуникации".

Это типичный пример весьма расхожего в наши дни, но обыденного, крайне узкого и сугубо утилитарного понимания феномена информации — в теоретическом плане устаревшего и далекого от действительно научной его трактовки. Проблема в том, что в XXI веке благодаря СМИ, политикам и рекламе модное слово "информация" и особенно определение "информационный" стали едва ли не сакральными в различных политических и околонучных текстах. Спекуляция новомодным научным термином достигла немислимых размеров. И при этом мало кто пытается проникнуть в подлинный смысл феномена информации.

К сожалению, и сам А. В. Соколов оказывается в плену подобной методологии. Он предлагает свою, по его мнению, "универсальную дефиницию

информации", а именно: "*Информация есть метафора, выражающая смысл в форме коммуникабельных знаков*".

Нетрудно показать, что так называемое "универсальное" определение природы информации, предложенное А. В. Соколовым, не выдерживает критики.

Ведь что это такое — *метафора*? Это одно из средств (троп) языка, это "*особая форма мысли*" (см., напр.: Энциклопедия эпистемологии и философии науки. — М.: 2009. С. 492), из чего определенно следует, что, согласно "метафорическим" представлениям А. В. Соколова, сущность информации сводится лишь к продуктам *сознания*, к *субъективной реальности* и, следовательно, по логике этого ученого, никакой другой информации, кроме "*смысла в форме коммуникативных знаков*", в природе якобы не существует.

Не думаю, что ученому А. В. Соколову абсолютно неизвестны иные точки зрения на природу информации. По-видимому, ему либо непонятны, либо для него почему-то неприемлемы основополагающие работы видных отечественных и зарубежных философов и физиков, давно уже показавших *объективный характер существования феномена информации как атрибута материальной субстанции*, обосновавших наличие *различных классов информации на всех уровнях движения материи*, а также и указавших на *принципиальную несводимость феномена информации исключительно к процессам коммуникации*.

Конечно, не стоит отрицать, что какие-то сугубо частные и даже парадоксальные определения информации, указывающие на *специфику* этого феномена *для той или иной номенклатуры дисциплин*, вполне возможны. Однако при этом абсолютно недопустимо выдавать эти односторонние дефиниции за единственную верную и универсальную трактовку этого фундаментального феномена.

Как показывают не только отечественные, но и зарубежные исследования, сама по себе фундаментальная природа (сущность) информации открывает довольно широкий простор для выдвижения разного рода спорных теоретических концепций.

2. На первом заседании семинара ИНИОН РАН и ИПИ РАН "Методологические проблемы наук об информации" (10 февраля 2011 г.) заведующий Отделом философии Центра гуманитарных научно-информационных исследований ИНИОН РАН

Г. В. Хлебников представил разрабатываемую с начала 2000-х годов концепцию "Философия информации" Лучано Флориди (Luciano Floridi) — профессора Хертфордшидского и сотрудника Оксфордского университета. Докладчик справедливо отметил, что знакомство с современными зарубежными концепциями такого фундаментального понятия, как *информация*, является важным условием разработки ее действительно научной теории.

Однако, по моему мнению, из этого же доклада вытекает, что идеи Лучано Флориди вряд ли станут серьезным подспорьем для "прорыва отечественных исследований в данной области", как великодушно полагает уважаемый Георгий Владимирович. Характерно, что, поставив вполне закономерный вопрос: "*Возможна ли большая объединенная теория информации?*", Лучано Флориди тут же дает на него малообоснованный *отрицательный* ответ.

Судя по всему, Лучано Флориди мыслит себя как *первооткрыватель* теории информации. При этом по известной англосаксонской традиции им абсолютно игнорируются фундаментальные труды не только наших отечественных ученых, но и основные труды зарубежных ученых, его предшественников. Конечно, для окончательного вывода необходимо более основательно изучить книгу Лучано Флориди "Философия информации" и другие его публикации. Но уже сейчас очевидно, что общая ориентация этого английского исследователя на так называемую *аналитическую философию*, скандально известную своими чисто умозрительными и зачастую формально выделенными *дискурсами*, вызывает огромные сомнения в том, что так называемые *проблемные идеи* Флориди приоткроют перед нами действительно философский, действительно системный подход к общей теории информации.

3. Разумеется, *общая теория информации не может не быть именно системной философской дисциплиной*, поскольку, как уже давно и основательно показали исследователи (зарубежные — Н. Винер, К. Шеннон, У. Р. Эшби, Л. Бриллюэн, А. Моль, И. Пригожин, и отечественные — В. И. Вернадский, В. М. Глушков, Б. Б. Кадомцев, А. Д. Урсул, В. В. Налимов, А. А. Силин и др.) *информация* — неотъемлемое свойство *материальной субстанции* (ее такой же *фундаментальный атрибут*, как *вещество* и *энергия*).

Но как сегодня понимают *философию* на Западе, да и в нашей стране некоторые ученые, поспешно *отказавшиеся от диалектического материализма* и увлеченно повторяющие мантры когнитивных наук? Сошлюсь на формулу французов — Жюль Делеза и Феликса Гваттари: "...философия — это искусство формировать, изобретать, изготавливать концепты" [2]. А что такое "концепты"? Согласно Делезу и Гваттари, это — "умственные сущности" [3], т. е. *априорные умозаключения* и при этом *довольно произвольные*. "...Философия, — говорят

они, — не созерцание, так как созерцание суть сами же вещи, рассматриваемые в ходе творения (!) соответствующих концептов. Философия — не рефлексия, так как никому не нужна философия, чтобы о чем-то размышлять; объявляя философию искусством размышления, ее скорее умаляют, чем возвышают..." И т. д. и т. п. [4].

Так что совсем нетрудно представить, какой может предстать обещанная нам "философия информации" в исполнении Лучано Флориди. Многие из предложенных им 18 проблем — это те же сугубо априорные концепты. Можно сочинить еще 18 новых или 36, или для круглого счета все 40 таких же — отчасти лежащих на поверхности, отчасти наукообразных, но, в основном, надуманных, спекулятивных проблем. Кстати, почему 18? На большее не хватило фантазии? В любом случае в этой заявке на философское сочинение явно не хватает присущей философии системности и выводного принципа. Философия должна к чему-то вести, понятно, что *вести к истине*, но в таком случае уже сам намеченный путь к ней должен быть *обоснован*.

Ощущение случайности и надуманности вызывают такие, например, проблемы, как Проблема 4-я ("*Как могут данные приобрести смысл?*"), Проблема 5-я ("*Как могут осмысленные данные обрести истинные значения?*"), Проблема 6-я ("*Может ли информация объяснить истину?*"), Проблема 13-я ("*Должна ли эпистемология основываться на теории информации?*"), Проблема 14-я ("*Можно ли свести науку к информационному моделированию?*"), Проблема 16-я ("*Как информация может натурализоваться?*")... И т. д. и т. п.

А ведь бесконечный набор всех этих и подобных им умозрительных концептов изначально упирается в философское решение самой главной проблемы теории информации: *Проблемы № 1 ("Что такое информация?")*.

По моему глубокому убеждению, решить эту действительно ключевую проблему невозможно, не обращаясь к *онтологии*, — учению о *бытии как таковом*, составляющему основной раздел философии, изучающий *фундаментальные принципы бытия, наиболее общие сущности и категории сущего*. Но дело в том, что аналитическая философия уже давно порвала все связи с традициями классической философии, которую она обычно третирует и объявляет устаревшей. Вот почему я с большим скепсисом отношусь к оптимистическим декларациям Флориди.

Хочу еще раз повторить: я убежден, что *общая (философская) теория информации*, а вместе с тем и *глубоко научное понимание природы (сущности) информации как атрибута материи* должны основываться на *глубоко фундированном онтологическом подходе*, описывающем *закономерности мира во взаимосвязи всех его материальных и идеальных сущностей*, т. е. *мира, взятого в целом*.

4. Как известно, наиболее полно проблемы *онтологии* разрабатывались *классической философией*, начиная с размышлений древних греков об *архэ* (первооснове мира) и кончая *учением о диалектике мира*, систематически изложенным Г. В. Ф. Гегелем. Закономерным продолжением этих натурфилософских традиций является *диалектический материализм*.

Здесь я должен затронуть непростой и все еще довольно болезненный для современной отечественной философии вопрос о *базовом онтологическом учении материализма*. К сожалению, сегодня нередко путают философию диалектического материализма с догматами *марксизма-ленинизма*, с классовыми постулатами, представляющими собой, по существу, политэкономическое и социально-политическое учение об условиях смены общественных формаций.

Думается, что драматический провал великого социалистического эксперимента в нашей стране и закономерный крах "советского диамата", да и в целом псевдомарксистской философской парадигмы, уже в 30-е годы XX века втиснутой И. В. Сталиным в жесткие формулы 4-й главы "Краткого курса истории ВКП(б)", не могут и не должны зачеркнуть тот несомненный исторический факт, что уже в XIX веке в *научное понимание природы мировых сущностей и основных законов их бытия* существенный вклад внес именно *диалектический материализм* — в его подлинном, идентичном виде, основы которого заложили ранние работы К. Маркса и "Диалектика природы" Ф. Энгельса. Ими же была тогда поставлена трудная философская задача — создание *материалистической теории диалектики* — можно сказать, ключевая задача диалектического материализма, которую, к сожалению, не сумели, да и, в принципе, не могли решить советские догматики-неомарксисты. И сегодня понятно — *почему*.

*Природа диалектики*, даже если ее рассматривать с позиций *диалектики природы*, остается во многом загадочной до тех пор, пока не усвоены великие научные открытия в естествознании — и, прежде всего, в физике, химии, биологии, физиологии и психологии, а также в космологии. В середине XX века склонные к философии ученые не без удивления обнаружили знаменательный факт: оказывается, в идеальной по своей природе *информации* таится родственная ей душа философской *диалектики*. Но, как известно, для советской догматической философии сама категория "информация" долгое время оставалась под идеологическим запретом, третировалась как категория якобы ложных "буржуазных" наук — *генетики* и *кибернетики*.

Я не буду далее излагать эти, уже хорошо описанные, драмы советской философии. Здесь важно подчеркнуть главный итог: стремительное развитие естествознания в конце XX и начале XXI века впервые приоткрыло завесу над *сущностью* и *гене-*

*зисом информации*, обнаружив ее *идеальную природу* (прежде всего, в работах Норберта Винера[5]) и *объективность ее существования в мире*, наряду с такими атрибутами материи, как *вещество*, *поле* и *энергия* (в известной работе Клода Шеннона[6]).

Вообще-то теория информации начинается не с *формулы К. Шеннона*, позволившей на основе вероятностных методов и посредством понятия энтропии оценить *количественную* сторону идеальности материи. Природа информации научно начала осмысливаться, по меньшей мере, с "теории идей" Платона, а также в рамках восточной традиции — в мистических учениях буддизма и индуизма. Правда, эти древнейшие и мощнейшие течения человеческой мысли, сказавшие так много об *идеальных свойствах материи*, в большинстве своем не пользовались ни понятием "идеального", ни понятием "материального" и уж, тем более, не знали понятия "информации", возникшего лишь в первой половине XX века и при этом, по-видимому, случайно именно в рамках наследницы картезианства — западноевропейской парадигмы науки.

Платонизму мы обязаны тем, что это учение обратило внимание на *дискретный* характер идеальных (а вместе с тем и материальных) свойств универсума. Восточной традиции мы обязаны тем, что она указала на *синкретичный, целостный* характер существования материи и духа. То, что составляет сильную сторону этих течений теоретической мысли, одновременно является и их слабостью, ибо ни дискретность, ни целостность не могут *в отдельности* представлять собой приоритет для универсума.

В самом начале XX века ограниченное понимание информации, тысячелетия существовавшее в науке под различными именами, было подвергнуто серьезному переосмыслению, поскольку обнаружилась связь сущности информации с сущностью *отражения*. Но только становление *кибернетики* — новой науки о наиболее общих закономерностях процессов управления, возникновения, существования и развития технических, биологических и социальных систем — впервые привело к осознанию фундаментального характера информации.

Полагаю, что методологическим основанием *общенаучной теории информации* является ее *онтологическое определение*, выдвинутое Н. Винером: "Информация есть информация, а не материя и не энергия" [7], установившее ее нематериальный, т. е. собственно идеальный характер. После Винера по проблеме информации были опубликованы тысячи работ, но исходное представление об этом феномене никому не удалось поколебать. Конечно, материалистов все время задевала прозвучавшая в определении Винера вызывающая независимость информации от того, что принято считать материей. Попытки разрешить это противоречие привели сначала к признанию двойственного объективно-субъективного характера информации, а затем —

к выделению у нее *содержания и формы (значения — смысла и значимости — ценности)*. Позднее добавились понятия *знака* и *материального носителя информации*.

Под информацией нередко понимают те или иные ее конкретные проявления и свойства: *обозначение содержания, полученного от внешнего мира в процессе приспособления к нему* (Н. Винер); *коммуникация и связь, в процессе которой уменьшается неопределенность* (К. Шеннон); *негэнтропия* (отрицательная энтропия) (Л. Бриллюэн); *упорядоченность* (И. Пригожин); *разнообразие* (У. Эшби). Эти и другие характеристики информации помогают глубже понять специфику этой фундаментальной сущности.

Так, из концепции "разнообразия" естественным образом вытекает положение о том, что *информация присуща и неживой материи*, поскольку разнообразие имманентно характеризует и неорганические объекты, оно существовало и до генезиса жизни и человека. "Информация существует постольку, поскольку существуют сами материальные тела и, следовательно, созданные ими неоднородности. Всякая неоднородность несет с собой информацию" [8]. Эту "крамольную" для марксизма-ленинизма мысль советский академик В. М. Глушков высказал еще в то время, когда кибернетика в СССР считалась буржуазной лженаукой.

Другой выдающийся русский ученый, академик А. И. Берг в начале 70-х годов XX столетия подчеркивал: "...Информация... всеобща. Она является объективной стороной процесса природы, представляющей собой определенный "срез" свойства отражения, а именно, тот его "срез", который состоит в факте упорядоченной "передачи разнообразия", "запечатлевания структуры" (как "потенциальной информации"), отображаемого в отображающем.

Однако признание всеобщности информации как антиэнтропийного начала, конечно, не только не исключает, но, напротив, предполагает ее специфику в различных сферах реального мира — в неорганической природе, в живых системах и социальных процессах... <>

...Современные исследования, прежде всего в кибернетике, но также и в других науках показали, что для характеристики реального мира недостаточны фундаментальные понятия классической физики — вещество, поле, движение, энергия, пространство, время. Для полноты этой характеристики необходимо столь же фундаментальное и столь же всеобщее понятие информации. Нет *материи без информации, нет и информации без ее материального носителя — вещества и энергии* (выделено мной. — А. Л.)... "Человек воспринимает и отображает только незначительную часть объективной информации, изучает некоторые закономерности информационных и материальных процессов мира" [9].

Эти определения являются развитием представлений об информации, высказанных Н. Винером.

В отечественной философской литературе наиболее глубоко фундированными представляются работы по теории информации академика А. Д. Урсула. Еще в конце 60-х годов XX века в своей основательной монографии он писал: "Всякое взаимодействие кроме энергетического аспекта имеет и информационный. Любое взаимодействие осуществляется благодаря каким-то материальным носителям — веществу или полю. Движущееся вещество или поле всегда характеризуется каким-либо типом разнообразия, а поэтому объективно обладает информацией. Информация, которая заключена в структуре, организации объекта, может быть названа *структурной* или *связанной* (этот термин употребляет Л. Бриллюэн). Структурная информация обязательно должна передаваться (иначе говоря, ее нельзя сводить лишь к процессу коммуникации. — А. Л.), основное ее содержание — сохранение качественной определенности, структуры данного объекта. Поэтому этот вид движения информации, а именно ее относительный покой (относительно структуры движения объекта) можно считать ее хранением.

Поскольку любые объекты неживой природы всегда взаимодействуют, то в результате они обмениваются информацией с другими объектами, причем включение информации в структуру можно назвать ее восприятием, а отделение элементов от данной структуры и пересылку другим объектам — передачей. Таким образом, можно четко выделить существование трех видов движения информации в неживой природе. Хранение соответствует *связанной* информации, восприятие и передача — так называемой *свободной* информации.

В неживой природе информационные процессы "затемнены" энергетическими, в той или иной степени не выделяются из них. Любая система неживой природы участвует в информационном процессе как бы "всем телом", всей структурой. У нее нет специального органа, отдела, который специализировался бы преимущественно на одном свойстве — информации. В отличие от этого системы живой природы имеют такую структуру, благодаря которой они способны выделять, использовать информационный аспект взаимодействия (например, нервные клетки, тот или иной тип нервной системы и т. д.).

Способность [целенаправленного] использования, преобразования информации возникает, по-видимому, уже на стадии раздражимости (возбудимости), т. е. уже у простейших живых существ..." [10].

В 2012 г. совместно с И. М. Гуревичем А. Д. Урсул опубликовал книгу, название которой говорит само за себя: "*Информация — всеобщее свойство материи: Характеристики, оценки, ограничения, следствия*" (М.: ЛИБРОКОМ, 2012. 312 с.).

Тем не менее общепринятая теория информации до сих пор отсутствует. Признав-таки понятие информации, многие ортодоксально настроенные ученые до сих пор не желают признавать ее *идеальную природу и объективность ее существования*, склоняясь к ограниченному толкованию и идеальных феноменов вообще как продуктов сознания, как исключительно *субъективную реальность* [11].

5. Как же должна строиться *общая теория информации*? Полагаю, что *кибернетика, генетика*, а теперь и *синергетика* (наука о самоорганизации материи, о возникновении новых свойств у целого) объективно показывают, что методологической основой *общей (философской), теории информации* может и должна стать философия *диалектического материализма*, но, конечно, *преобразованного, интегрировавшего в себе новейшие научные знания о сущности материи и ее диалектических свойствах*. Только вооруженная этими знаниями философия способна раскрыть и обосновать *естественные, базовые, диалектические механизмы порождения материальной субстанции различных классов информации (т. е. всех идеальных сущностей мира)*.

Далее я кратко остановлюсь на этих *базовых механизмах*, раскрывающих природу (сущность) феномена информации. Несколько лет назад, изучая в рамках разрабатываемой мной *проблемы идеального* некоторые фундаментальные идеи психологии, языкознания, биологии и физической теории, я понял, что существуют, по крайней мере, *две ключевые работы, имеющие важнейшее концептуальное значение для общей (философской) теории информации*. Первая из них — "*Элементы мысли*" — принадлежит великому русскому естествоиспытателю, психологу и физиологу Ивану Михайловичу Сеченову (1829—1905), вторая — "*Динамика и информация*" — видному русскому физику-теоретику, специалисту в области физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза Борису Борисовичу Кадомцеву (1928—1998).

Свою большую статью "*Элементы мысли*", ставшую впоследствии знаменитой (но, к сожалению, сегодня почти забытую исследователями сознания, идеальных сущностей и, в том числе, природы информации) И. М. Сеченов опубликовал еще в конце XIX столетия, в 1878 г. В этой работе *мышление* (как социальная ипостась идеального) впервые после анализа простых и сложных идей, осуществленного английским философом Дж. Локком (1632—1704), было представлено *структурно и операционально*. Показательно, что в это же самое время выдающийся швейцарский лингвист, один из теоретиков и основоположников современного языкознания Фердинанд де Соссюр (1857—1913) скептически констатировал: "*Взятое само по себе мышление похоже на туманность, где ничто четко не разграничено*" [12].

Но русский ученый И. М. Сеченов сумел гениально развезать эту "туманность". Сформулированная им исходная теоретическая посылка оказалась на удивление простой, а именно: "*...всякую мысль, какого бы порядка она ни была, можно рассматривать как сопоставление мыслимых объектов друг с другом в каком-либо отношении*" [13]. Из этой экспериментально установленной посылки вытекали, согласно открытию Сеченова, по меньшей мере, два методологических следствия: во-первых, указание на "*тесное родство мыслей разных порядков не только со стороны общего типа их строения, но и со стороны отношений, в которых объекты сопоставляются друг с другом*" и, во-вторых, указание "*на возможность изучения всех мыслимых человеком отношений в первоначальной школе предметного мышления, имеющего корни, несомненно, в чувствовании*" [14].

Иначе говоря, И. М. Сеченов на материале такого идеального феномена, каким является *мысль*, выявил *базовый механизм генезиса (порождения) в мыслящем мозге человека информации, социальной по своему уровню*. Обобщенно же говоря, этот базовый механизм сводится к *сопоставлению* (взаимодействию) друг с другом, по крайней мере, *двух объектов, двух дискретностей*. Нетрудно понять, что подобные сопоставления (взаимодействия) и отношения существуют не только в голове человека, но и, в иных формах, *на всех уровнях движения материи*, а это значит, что этот механизм является, по существу, не чем иным, как *базовым механизмом генезиса, (порождения материей) информации как таковой, идеальной по своей природе*.

При этом важно обратить внимание на то, что казалось бы неожиданное совпадение: этот базовый механизм, основанный на *сопоставлении (взаимодействии) пар объектов, пар дискретностей*, обычно пребывающих в самых различных прямых и обратных отношениях (в единстве или в борьбе противоположностей, в отрицании отрицания, в развитии и т. д.), *фактически одновременно предстает и как базовый механизм порождения и реализации материей ее, столь загадочной для иного метафизического ума, диалектики*.

6. Здесь вполне закономерен сильный методологический вопрос: трактуя научное открытие И. М. Сеченова столь широко (т. е. распространяя найденный ученым конкретный *психофизиологический механизм порождения мозгом идеальной мысли на всю материю*), не оказываемся ли мы скорее во власти желаемого, чем действительного? Что говорит нам современное естествознание о возможном *генезисе информации как таковой*? Обратимся к показаниям физика-теоретика, к названной мной выше работе "*Динамика и информация*" академика Б. Б. Кадомцева — ко второй, по моему мнению, ключевой работе для формирования *общей теории информации*.

Б. Б. Кадомцев убедительно показал, что элементарная информация возникает уже на квантовом уровне движения материи, а именно любая *декогеренция, т. е. каждый коллапс волновой функции, происходящий в момент взаимодействия микроуровня с макроуровнем, порождает 1 бит информации*. Таким образом, информация как идеальная сущность является фундаментальным мирообразующим фактором. С ее помощью осуществляется *переход* от квантового мира к макромиру, "макротела приобретают свойства классических тел".

Согласно Б. Б. Кадомцеву, *волновая функция* (играющая в квантовой механике *ключевую роль, "имеет чисто информационный смысл"*, поскольку "все физические величины при квантовом описании представляют собой операторы, действующие на волновую функцию, а числовые значения физических величин представляют собой собственные значения этих операторов" [15].

"...Для нас самым главным, — утверждал Б. Б. Кадомцев, — является то обстоятельство, что при коллапсе волновая функция фотона уничтожается во всем пространстве, за исключением области поглощения. Вот здесь-то мы и встречаемся с коллапсом волновой функции и ее информационным смыслом!

Коллапс волновой функции сходен с коллапсом вероятностей..." [16]. Иначе говоря, *вероятность* и *случайность* играют диалектическую роль в квантово-механическом механизме порождения *информации*.

Информационные процессы очень тесно переплетены с диссипативными необратимыми процессами в системах, далеких от термодинамического равновесия. Порядок и рождение новой информации, как правило, требуют выхода за пределы некоторой изолированной физической системы. Рождение энтропии не обязательно должно происходить строго локально (в замкнутой системе), а может осуществляться где-то далеко от рассматриваемой системы (при условии, что эта система открыта). При этом в кибернетике — науке об управлении и автоматизации динамических процессов посредством информации — было показано, что сигнал управления может быть *очень мал*, если он подается на достаточно мощный усилитель; для управления важна не величина сигнала, а его форма, т. е. *значение* этого сигнала, его *смысловое содержание*. Разработка *семантической* теории информации до сих пор остается насущной задачей современной науки.

"...Образно говоря, — подчеркивал Кадомцев, — уже на уровне микромира мы встречаемся с "рождением" и постепенным "угасанием" волновых пакетов или волновых функций. Другими словами, **жизнь начинается с микромира** [подчеркнуто мной. — А. Л.], а затем она может многократно усиливаться и расширяться в открытых биологических системах.

Здесь мы сталкиваемся с возможностью зарождения новых линий эволюции, которые были названы Кантом [17] причинностью через свободу (Causalitat durch Freiheit). Всем нам очевидно, что такие процессы рождения нового путем развития очень малых начальных возмущений, скорее "микрорпричин", играют огромную роль в развитии Природы. Однако традиционная физика имела дело с динамическими системами с точно определенными координатами частиц и причинно-следственными связями. При включении нелинейных процессов, стартующих с малых неустойчивостей, необходимо учитывать даже очень слабые связи, которые можно назвать информационными" [18].

7. Разумеется, Б. Б. Кадомцев не одинок в своем понимании фундаментальной природы информации. Можно сослаться на мнение и зарубежных исследователей, хотя дело тут вовсе не в авторитетах. Например, один известный американский логик, математик и философ пронизательно отметил: "...Абсолютное понятие объективной информации предоставляют физические частицы" [19]. "Электроны, фотоны и другие элементарные частицы, — утверждают американские физики, специалисты в области квантовой теории информации и фундаментальной природы пространства-времени, — несут в себе информацию, которая изменяется каждый раз, когда частицы взаимодействуют друг с другом. Физическое существование и информационное содержание неразрывно связаны". Как афористически выразился физик из Принстонского университета Джон Уиллер (John Wheeler), *"все — из бита"*. [20].

"Черные дыры — самый экзотический пример общего принципа, гласящего, что Вселенная регистрирует и обрабатывает информацию. Сама идея не нова: создатели статистической механики еще в XIX веке для объяснения законов термодинамики придумали то, что позже было названо *теорией информации*. На первый взгляд, термодинамика и теория информации предельно далеки: первая была разработана для описания паровых двигателей, а вторая — чтобы оптимизировать каналы связи. Тем не менее термодинамическая величина, называемая *энтропией*, которая ограничивает способность парового двигателя производить полезную работу, оказывается пропорциональной числу битов, регистрируемых положениями и скоростями молекул в веществе. Созданная в XX веке квантовая механика позволила количественно обосновать связь термодинамики с информацией и ввести понятие *квантовой информации*. Вселенная состоит из квантовых битов — кубитов, обладающих гораздо более интересными свойствами, чем обычные биты. <>

Вселенная — не просто гигантский компьютер, а гигантский квантовый компьютер. И как говорит

физик Паола Цицци (Paola Zizzi) из Падуанского университета, *"все — из кубита"* [21].

К 70-м годам XX века принципиальное значение понятия информации для физической теории уже хорошо осознавалось многими видными учеными, обнаружившими в нем дополнительные возможности для более полного описания "открывшегося" перед нами причудливого квантового мира. "...Чтобы осуществлять естественную квантовую эволюцию, *Природа* должна обрабатывать огромное количество информации со скоростью, которую нельзя достичь никакими классическими средствами, и в то же время большая часть этой обрабатываемой информации держится скрытой от нас!" [22].

На очень важную особенность природы информации обратил внимание Эрвин Шрёдингер в своей небольшой, но емкой по содержанию работе "Что такое жизнь?", заинтересовавшись источником удивительного *порядка* биологических систем. Он пришел к выводу, что этот порядок не может быть следствием случайных событий, поскольку в таком случае следовало бы ожидать флуктуаций в масштабе, равном квадратному корню из числа частиц, участвующих в формировании биологической системы. Шрёдингер предположил, что порядок требует стабильности химических связей, прежде всего ковалентных, которые подчиняются законам квантовой, а не классической физики. Затем Шрёдингер заметил, что простой кристалл не может содержать много информации, потому что состоит из идентичных структурных единиц и обратил внимание на *апериодические кристаллы*, при этом он высказал предположение, что "ген или, возможно, целая хромосомная нить представляет собой апериодическое твердое тело" [23].

А сама по себе *апериодичность* тождественна *разнообразию* и в скрытом виде содержит идею *целостности* мира, поскольку отвечает за *информацию*, связывающую разделенный на макроуровне универсум, а следовательно, может содержать микрокод, управляющий развитием организмов. Шрёдингер оказался прав: вскоре Уотсон и Крик описали структуру молекулы ДНК, а 10 лет спустя был расшифрован и микрокод — *генетический информационный код живого вещества*.

Но в целом концепция информации Шрёдингера (а именно его идея *наличия информации, или микрокода, в апериодическом кристалле* или, собственно, в *любой материальной структуре*) и вытекающие отсюда следствия для понимания информационной сущности живой материи не были восприняты исследователями.

Понятно, что диалектический материализм обязан основательно усвоить уроки современной физики и, наоборот, физическая теория должна глубоко проникнуться идеями диалектического материализма — в особенности пониманием *диалектической природы информации*.

8. К счастью, большинство естествоиспытателей уже по определению является если не сознательными, то, по крайней мере, *стихийными материалистами*, поскольку в своих экспериментах они, как правило, имеют дело с веществом, полем и энергией, т. е. с *материальными* объектами и процессами (важность этого условия познания мира, как известно, не раз подчеркивал А. Эйнштейн).

Но признают ли физики *идеальные сущности* в принципе? Причем не как порождения нашего идеального ума, нашей субъективной реальности, а как такие нематериальные сущности, которые объективно наличествуют в природе, в самой физической реальности, т. е. обладают бытием, независимым от нашего сознания? По-видимому, многие из физиков сегодня согласятся с этим утверждением.

Но что же это такое для физики — *симметрии, вероятности, неопределенности, нелокальности, разнообразие, бесконечности* и т. д. и т. п.? Современная физическая теория не может обходиться без таких понятий, возникших подчас совсем в других областях знания и теоретически схватывающих, тот или иной род *диалектических отношений*, а следовательно, отражающих некие *идеальные сущности материи*, объективно существующие в природе, имманентно присущие ей на всех уровнях движения материи.

Характерно, что *все эти идеальные феномены базируются на одном и том же, типичном для феномена информации, механизме соотносительности*, по крайней мере, двух дискретностей (симметрии-асимметрии; или, например, *вероятность* — это выбор из двух, по крайней мере, вариантов событий; то же можно сказать о *соотношении неопределенностей* и о *принципе дополненности*; все эти теоретические конструкты представляют собой ни что иное, как *соотношение, по крайней мере, двух различных сущностей*). Так и трансцендентальная для теоретиков *бесконечность* в нашем мире неизбежно сопрягается с *конечностью*; и т. д. и т. п.).

У всех этих далеко не физических понятий физики находят *определенный физический смысл*, хотя подчас и с трудом (вспомним, как долго, по свидетельству В. Гейзенберга, великий мыслитель А. Эйнштейн отказывался включить в физическую теорию *нефизическое*, по его мнению, понятие *вероятности*).

Еще раз подчеркну, что все эти и подобные им междисциплинарные понятия *конкретизируют* идеальную сущность категории "информация", выступающей их общим предикатом, их родовым определением.

*В свете сказанного можно, хотя бы в первом приближении, понять, каким образом, базирываясь на методологии диалектического материализма, следует логически выстраивать общую (действительно философскую) теорию информации.*

9. Известно, что диалектический материализм признает одну-единственную субстанцию — *материю*, существующую и проявляющую свои свойства диалектически — в движении. Вместе с тем эта *единственная субстанция* обладает *двумя родами свойств* — материальными (вещественными, силовыми и т. д.) и идеальными (информационными), различающимися **онтологически**: так, если "материальное" существует *непосредственно*, само по себе, т. е. обладает *полным онтологическим статусом*, то "идеальное" существует *опосредствованно*, т. е. *всегда нуждается в тех или иных материальных носителях* и порождается *соотносительностью (взаимодействием)*, по крайней мере, *двух дискретностей*. *Философское "идеальное"* обладает *неполным онтологическим статусом* и часто именуется в истории философии как "дух", "идея", а современная научная парадигма для обозначения "идеального" использует понятие "*информации*".

Объективным обстоятельством, требующим теоретически и практически *различать* материальные и идеальные свойства (феномены, сущности) общемировой субстанции, а главное — признавать *объективность существования информации ("идеального")* является ее **активность**, ее способность *специфически, но вместе с тем полноправно участвовать в мирозидании, в коэволюции Вселенной, во всех модификациях материи* — посредством так называемых "*малых*" (в энергетическом смысле) *воздействий*, которые в современной литературе иногда называют "*информационной причинностью*".

Исторически в процессе познания мира человечеством ("сознающей себя материей") разнообразные идеальные свойства (идеальные феномены, сущности) материи получали различные наименования: *энтелехия, дух, идеи, бог, жизнь, витальность, психика, ментальное, чувства, воля, интуиция, значения и значимости (ценности), сознание и бессознательное психическое, смысл, моральные императивы, духовные потребности, убеждения, установки, убеждения, знания, контент* и т. д. и т. п. Все эти понятия и категории выражают *идеальную природу субстанции* и — в зависимости от уровней и форм движения материи — могут быть отнесены к тем или иным *классам (родам) информации*. Таким образом, в первом приближении *общая теория информации* охватывает следующие идеальные сущности:

- *элементарная, микрофизическая (квантовая) информация*;
- *макрофизическая (геологическая, космическая) информация*;
- *химическая (молекулярная) информация*;
- *биологическая (генетическая) информация*;
- *социальная, межвидовая (присущая растениям и животным) информация*;
- *общественная, цивилизационная (собственно человеческая) информация*, охватывающая индиви-

дуальное и общественное сознание, культуру и все виды знания.

В этой классификации представляется возможным выделение как собственно *психической (сознаваемой и неосознаваемой) информации* личности, так и *контентной информации*, циркулирующей в средствах массовой информации, в учреждениях образования и культуры, а также в искусственных информационных сетях, реализующей имманентную *потребность человечества в космической экспансии*.

10. Именно такой междисциплинарный подход в теоретическом осмыслении природы (сущности) информации отстаивает специалист в области наук об информации К. К. Колин. В своем концептуальном докладе "*Философия информации: структура реальности и феномен информации*", с которым он в феврале 2013 г. выступил на очередном совместном семинаре ИНИОН РАН и ИПИ РАН, К. К. Колин убедительно показал, что "*Структура реальности окружающего нас мира обладает свойством дуальности, так как она одновременно включает в себя два основных компонента: физическую и идеальную реальность*. Оба эти компонента объективно существуют и взаимодействуют друг с другом, так как они обладают свойством *взаимного отражения*".

Способность физической и идеальной реальности к взаимному отражению является их фундаментальным свойством, которое, собственно, и создает возможность проявления различных аспектов феномена информации".

Как уже отмечалось, основанный на соотносительности (взаимодействии), по крайней мере, двух дискретностей, *принцип порождения информации всегда диалектичен*. И этот вывод имеет действительно глубокий *фундаментальный смысл*, ведь *изначальную диалектичность субстанции придает соотносительность двух ее фундаментальных и взаимосвязанных интенций*, формирующих все разновидности ее движения, а именно, с одной стороны, *интенция материи к дискретизации (делению)*, а с другой стороны, противоположная ей — *ad infinitum — интенция материи к сохранению целостности Вселенной, универсума*.

В изданных в последнее время философско-методологических работах К. К. Колина [24] делается очередная попытка раскрыть общенаучный смысл идеальных информационных феноменов и предлагаются некоторые принципы для построения философской теории информации.

#### Список литературы

1. Соколов А. В. Философия информации. СПб.: СПбГУ-КИ, 2010. 261 с.; см. его же: Философия информации: профессионально-мировоззренческое учеб. пособие. СПб.: СПбГУКИ, 2010. 368 с.
2. Делёз Ж., Гваттари Ф. Что такое философия? М.: Академический Проект. 2009. С. 6.
3. Там же. С. 9.

4. Там же. С. 10.
5. **Винер Н.** Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. М.: 1958; его же. Кибернетика и общество. Творец и робот. М.: Тайдекс Ко, 2003.
6. **Шеннон К.** Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 830 с.
7. **Винер Н.** Кибернетика..., С. 215.
8. **Глушков В. М.** О кибернетике как науке // Кибернетика, мышление, жизнь. М.: 1964. С. 53.
9. **Берг А. И.** Общенаучное значение принципа отражения // Ленинская теория отражения и современная наука / Теория отражения и естествознание. София: Наука и искусство, 1973. С. 108.
10. **Урсул А. Д.** Природа информации. М.: 1968. С. 112–113.
11. **Дубровский Д. И.** Проблема идеального. Субъективная реальность. М.: Канон+, 2002.
12. **Соссюр Ф.** Труды по языкознанию. М.: 1977. С. 144.
13. **Сеченов И. М.** Элементы мысли. — В кн.: И. М. Сеченов, И. П. Павлов, Н. Е. Введенский. Физиология нервной системы. Избр. труды. Вып. I. М.: 1952. С. 295.
14. Там же.
15. **Кадомцев Б. Б.** Динамика и информация. 2-е изд. М.: Ред. ж. "Успехи физ. наук", 1999. С. 7, 9.
16. **Кадомцев Б. Б.** Там же. С. 9.
17. **Кант И.** Критика чистого разума. М.: Мысль, 1994. С. 278.
18. **Кадомцев Б. Б.** Динамика и информация. С. 14.
19. **Куайн У. В. О.** Философия логики. М.: Канон+, 2008. С. 12.
20. **Ллойд С., Энджи Д.** Сингулярный компьютер // В мире науки (Scientific American). 2005. № 2. С. 33.
21. **Ллойд С., Энджи Д.** Сингулярный компьютер. С. 33–34.
22. **Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А.** Физика квантовой информации: Квантовая криптография. Квантовая телепортация. Квантовые вычисления. М.: Постмаркет, 2002. С. 145.
23. **Шрёдингер Э.** Что такое жизнь? Физический аспект живой клетки. Ижевск, 1999. С. 66.
24. **Коллин К. К.** Философские проблемы информатики. — М.: БИНОМ, 2010. 264 с.; см. его же: Структура реальности и феномен информации // Открытое образование. 2007. № 5 (70). С. 56–61; его же: Философия информации и фундаментальные проблемы современной информатики // Alma mater (Вестник высшей школы). 2010. № 1. С. 29–36; его же: У истоков российской философии информации // В кн.: Урсул А. Д. Природа информации: философский очерк. Челябинск, 2010. С. 5–14.



*20–22 февраля 2014 г. Минск, БГУИР*

**IV Международная научно-техническая конференция**  
**«ОТКРЫТЫЕ СЕМАНТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ»**  
**(OSTIS-2014)**

Основной целью ежегодных конференций OSTIS (Open Semantic Technology for Intelligent Systems) является создание условий для расширения сотрудничества различных научных школ, вузов и коммерческих организаций, направленного на разработку комплексной массовой технологии компонентного проектирования (модульного, сборочного проектирования) интеллектуальных систем.

Тематика конференции:

- Проблема независимости технологий проектирования интеллектуальных систем от различных платформ и вариантов их реализации
- Проблема интеграции интеллектуальных систем и их компонентов
- Принципы, лежащие в основе массовой технологии проектирования интеллектуальных систем на основе семантических сетей

Рабочие языки конференции: русский, белорусский, английский.

**Подробности: <http://conf.ostis.net>**

# CONTENTS

|   |   |
|---|---|
| <i>Levin V. I. Logical Methods in the Theory of Conflicts</i> . . . . . | 2 |
|---|---|

It is shown that relations of the conflict, cooperation and a neutrality between systems described by means of logic algebra are easy to study successfully by the same mathematical apparatus. Such approach provides constructibility of studying, efficiency of computing algorithms and results interpretation ease.

**Keywords:** systems conflicts and cooperation, neutrality between systems, logic algebra, logical studying of systems

|  |    |
|--|----|
| <i>Gribova V. V., Kleshev A. S. Technology of Intelligent Services Development Oriented on Declarative Domain Knowledge Bases. Part 2. Task Solver. User Interface</i> . . . . . | 10 |
|--|----|

The article is the sequel of the article devoted to the technology of intelligent system development and maintenance as intelligent services. The basic principle of the technology is well-defined division between declarative knowledge (domain knowledge) and procedural knowledge (solving-problem knowledge). This part presents describes task solver and user interface development.

**Keywords:** intelligent software, cloud computing, semantic technologies, ontology, knowledge base, multi-agent systems

|   |    |
|---|----|
| <i>Batischev V. I., Moshkov I. S., Yakimov V. N. Technical Documents Processing Founded on Knowledge Systemic Organization Estimate</i> . . . . . | 15 |
|---|----|

In paper is considered the problem of engineering knowledge extraction in the processing of technical documentation and knowledge management. There is provided the structural model of a system-organized engineering knowledge, which allows to associate elements of processing knowledge with their classification. In addition classified as separate elements of knowledge and their combination, it confirm estimating the degree of implication difference between the processing and the regulatory documents in the case of a multi-valued interpretation of the results.

**Keyword:** text processing, natural language, language construct, knowledge estimating, engineering knowledge

|   |    |
|---|----|
| <i>Plesovskikh I. B. Wide-Area Network Optimization Using Genetic Algorithm</i> . . . . . | 20 |
|---|----|

In this paper a genetic algorithm for LAN topology optimization is proposed. This algorithm takes into account such factors of the network performance as the speed of information transmitting over the network, and cost. The algorithm minimizes the delay of information transmitting and the total length of links. Also there are results of applying the algorithm to a small computer network. It is revealed that the algorithm saturation is fast enough. Also found that the algorithm converges to a particular solution rather slowly, allowing us to get good results. The result of the algorithm is network topology with acceptable performance parameters.

**Keywords:** optimization task, computer networks, wide-area networks, genetic algorithm, network cost, network capacity, network topology

|  |    |
|--|----|
| <i>Politsyn S. A., Shilov V. V. The Model of the Task Solving Process in Software Engineering.</i> . . . . . | 24 |
|--|----|

Development teams are likely to have lots of difficulties while making more or less accurate estimations on a project: time assumptions, work assessments and required budget. A new approach of solving this problem is described in the article. The new approach based on lines calculations is suggested and a method for using this approach for software engineering process estimations with better accuracy is suggested.

**Keywords:** project management, resource allocation, time consumption, software engineering process

|  |    |
|--|----|
| <i>Koloskov V. A., Koloskova G. P., Pavlyuchenko D. V., Dinh Tuan Long. Message Transfer in Reconfigurable Failure-Tolerance Multiprocessor System</i> . . . . . | 29 |
|--|----|

The approach to the cellular algorithm of the routing in failure-tolerance multiprocessor system is presented. This approach uses the model of the natural similar environment for searching optimal route of message transfer. Processing rules for local data are considered. These rules are providing searching routes, when source and receiver are moving in conditions of multiple failures.

**Keywords:** multiprocessor systems, fault tolerance, reconfiguration, cellular algorithm of the routing

|  |    |
|--|----|
| <i>Otzokov Sh. A. Effective Algorithm of Rounding in High-Precision Computation in Modular Arithmetic.</i> . . . . . | 35 |
|--|----|

In article the advanced algorithm of rounding in modular arithmetic for high-precision computation is offered. The estimation of complexity of the offered algorithm is computed.

**Keyword:** modular arithmetic, binary fractions, high-precision calculations

*Abdullayeva G. G., Kurbanova N. G., Mirzazada I. H. Intelligent Information System of Differential Diagnosis for Poisonings by Toxic Substances (Using Carbon Monoxide Poisonings as an Example)*. . . . . 40

According to statistical data, a considerable increase in the number of acute carbon monoxide poisonings has been observed in Azerbaijan over the last few years. The difficulty of diagnosis is due to the fact that the same symptoms and even syndromes can be evident in cases of poisonings by different toxic substances. For this reason the problem of performing pre-laboratory differential diagnosis is necessitated. This article proposes the development of a system which carries out differential diagnosis for poisonings by chemical substances with similar symptoms using carbon monoxide poisonings as an example.

**Keywords:** different diagnosis, carbon monoxide, frame, rules of production, neural networks, intelligent system

*Turovski Ya. A., Kurgalin S. D., Semenov A. G. The Research of the Locals Maximums Dynamics in the Wavelet-Spectrums of the Brain Event-Related Potentials*. . . . . 46

The method, elaborated on based on the analysis the locals maximums dynamics in the wavelet-spectrums was applied to brain event-related potentials investigation. The classification chains of the locals maximums was advance. The five types as for frequency, as for power dynamics, was detected. This result is identical result for native EEG. The high sensitiveness for brain event-related potentials dynamics elaborated algorithms was demonstrated.

**Keywords:** electroencephalogram, wavelet analysis, chain of the local maximum, local spectrum

*Yashin K. D., Mezianaya K. N., Zalivaka S. S., Karaneuski K. M. The Influence of Virtual World on the Personality of a Student*. . . . . 50

The analysis of the factors promoting the formation of computer game addiction in students has been made. The influence of certain kinds of computer games on the progression of mental and physical disorders has been studied. The conclusion has been made that computer game addiction symptoms could be suppressed by means of software implementation of an intelligent agent.

**Keywords:** computer game, autonomous virtual image, student gamers, virtual reality

*Kononov O. A., Malykov K. A., Serbulov Yu. S. Generalized Classification of Resources in Technological Projects*. . . . . 56

In article scientific aspects of classification of resources are considered. It is shown that this problem is still not solved and proposed a generalized classification of resources in relation to the theory of project management. The approaches to the assessment of certain types of resources.

**Keywords:** classification of resources, project, types of resources, management

---

---

**Адрес редакции:**

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала **(499) 269-5510**

E-mail: [it@novtex.ru](mailto:it@novtex.ru)

Дизайнер *Т.Н. Погорелова*. Технический редактор *Е. В. Конова*.

Корректор *Т.В. Пчелкина*.

Сдано в набор 02.08.2013. Подписано в печать 16.09.2013. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 8,86. Заказ ИТ1013. Цена договорная.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-15565 от 02 июня 2003 г.

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз".

105120, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д. 5/7, стр. 2, офис 2.