

УДК 519.7

## КОНЦЕПТУАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОЗНАЧНЫХ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. МОЗГОПОДОБНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ИНФОРМАЦИИ

Г.Г. Четвериков<sup>1</sup>, Е.С. Кнышова<sup>2</sup>, И.Д. Вечирская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина  
chetvergg@gmail.com, ira\_se@list.ru

<sup>2</sup>Севастопольский институт банковского дела Украинской Академии банковского дела  
Национального Банка Украины

### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы концептуально-психологических аспектов математического моделирования структур на основе алгебры конечных предикатов как универсальных функциональных преобразователей пространственного типа. Исследуется декомпозиция подобных многозначных структур на дискретно-аналоговые преобразователи и цифровые субблоки (матричный селектор и коммутатор).

**Ключевые слова:** логика, конечный предикат, алгебра конечных предикатов, многозначная структура, АКП-структура.

### Введение

Развитие современных средств вычислительной техники поставило ряд задач и проблем, которые в той или иной степени связаны с взаимодействием человека с интеллектуальными системами (ПК или ЭВМ: интерактивный режим). Большинство этих задач до сих пор не нашли адекватного и эффективного решения и классифицируются как задачи искусственного интеллекта (ИИ). Создание систем идентификации, предсказания и распознавания образов, в которых интерактивный режим работы является главной частью всего комплекса интеллектуальных свойств, выдвинуло эти задачи на одно из первых мест.

Исследование распознавания человеком образов показывает, что в модели мира, создаваемой мозгом, функционируют два механизма: опознавания и видения объекта. Первый дает возможность классифицировать объекты в результате семантического анализа, второй позволяет описать их в мелких деталях и свойствах (структурный анализ). Мозг, как хранитель объективной модели мира, устроен адекватно с содержанием мировой реальности, иначе человек не смог бы эволюционировать и совершенствоваться в процессе своего развития. Естественно, напрашивается вывод о целесообразности и необходимости математического и технического моделирования принципов функционирования человеческого мозга для решения задач создания систем искусственного интеллекта.

В настоящее время широкую интерпретацию получили две формы передачи информации, определяемые рефлексивным и континуальным мышлением. В первом случае человек думает словами, а иногда преобразует их в образы. Такой способ передачи информации обладает малой информативной емкостью и требует активного участия мозговых структур по расшифровке, переработке, дополнению принятой информации. Этот вид мышления не может существовать без ключа – языка. Незнание языков делает получаемую информацию бесполезной для создания образов. При континуальном сознании мышление осуществляется не словами, а образами. Это своеобразная аналоговая система или квантование при очень малом

шаге квантования и большом объеме элементарных сигналов, поступающих в мозг в единицу времени. Таким образом, одной из актуальных задач на сегодняшний день является исследование и изучение принципов функционирования и логики работы мозга, в частности, овладение контролем над сознанием, т.е. возможностью осознавать самого себя и возможностью создавать (моделировать) логику работы мозга в виде, так называемых, мозгоподобных преобразователей информации [1].

## 1 Выбор математического аппарата

Наличие алгебры конечных предикатов (АКП) дает возможность осуществления перехода от алгоритмического описания информационных процессов к их описанию в виде уравнений, которые задают отношения между входящими в них переменными [1]. Все переменные в уравнении равноправные и любые из них могут выступать в роли как независимых, так и в роли зависимых. Наличие уравнений и их преимущество перед алгоритмами состоит в том, что появляется возможность рассчитать реакцию системы в случае неполной определенности исходной информации, в то время как при не полностью заданной области определения алгоритм является неработоспособным. Показано, что изменение знаний об объекте система уравнений АКП, реализованная в виде соответствующей структуры, всегда готова к использованию, а алгоритм часто требует существенного изменения еще до начала работы. Отметим, что с помощью формул АКП строим АКП-структуры, которые реализуют соответствующие конечные предикаты. Данный подход аналогичен процессу построения комбинационных схем по формулам алгебры логики. В зависимости от уровня функционально-структурной реализации имеем АКП-структуры первого, второго и третьего рода [2].

В качестве математического аппарата исследования используется алгебра конечных предикатов [1]. Последнюю трактуем как алгебру, носителем которой является множество  $M$  всех предикатов  $U^m$ , где  $U$  - непустое множество каких-либо переменных, которое называют универсумом, т.е.  $U = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ . Здесь  $x_1, x_2, \dots, x_m$  - какие-либо места предметов. Поэтому их иначе называют предметными переменными. Заметим, если предмет  $a$  находится на месте  $x_i$   $i = (\overline{1, m})$ , то говорят, что переменная  $x_i$  принимает значение  $a$  и при этом имеет такую запись  $x_i = a$ . Если  $a_1, a_2, \dots, a_m \in U$  и  $x_1 = a_1, x_2 = a_2, \dots, x_m = a_m$ , то справедлива запись  $(a_1, a_2, \dots, a_m) \in U^m$  и говорят, что предметный вектор (набор) принадлежит предметному пространству  $U^m$ . Число  $m$  называют размерностью пространства  $U^m$ . Любое подмножество  $T$  пространства  $U^m$  называют  $m$  - местным отношением, заданным на  $U^m$ . Для формульной (аналитической) записи таких отношений используют явный способ задания конечного алфавитного оператора, который служит отправным моментом для аппаратного метода решения уравнений алгебры конечных предикатов [1].

Пусть  $T$  - множество всех отношений на  $U^m$ ,  $Q$  - множество всех предикатов на  $U^m$ . Отношение  $T$  и предикат  $Q$  называют соответствующими друг другу, если для любых  $x_1, x_2, \dots, x_m$  имеем:

$$Q(x_1, x_2, \dots, x_m) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_1, x_2, \dots, x_m \notin T \\ 1, & \text{если } x_1, x_2, \dots, x_m \in T \end{cases} \quad (1)$$

В соответствии с (1) возможен переход от произвольного отношения  $T$  к соответствующему ему предикату  $Q$ . Предикат  $Q$ , который находят по выражению (1), называют характеристической функцией отношения  $T$ .

Предикатом распознавания предмета  $a \in U$  переменной  $x_i$ , где  $i = (\overline{1, m})$  называют условия вида:

$$a(x_i) = x_i^a = \begin{cases} 0, & \text{если } a \neq x_i \\ 1, & \text{если } a = x_i \end{cases} \quad (2)$$

Предикат  $a(x_i)$  следует рассматривать как предикат  $a(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m)$  из  $P \subseteq Q$ , все аргументы которого, кроме  $x_i$ , несущественны. Выражение в виде  $a(x_i)$ , где  $i = (\overline{1, m})$ ,  $a \in U$  заменим на  $x_i^a$  (здесь  $a$  называют показателем для переменной  $x_i$ ). Таким образом, алгеброй конечных предикатов над  $M$  называют множество  $T$  с базисными элементами  $x_i^a (i = \overline{1, m}, a \in U)$  и базисными операциями: дизъюнкция, конъюнкция и отрицание. Исключение из базиса данной алгебры операции отрицания позволяет получить так называемую дизъюнктивно-конъюнктивную алгебру предикатов. Доказана ее полнота [2]. Таким образом, данная алгебра рассматривается как инструмент исследования, а не как его предмет.

## 2 Основные концепции построения многозначных систем ИИ

В настоящей работе рассмотрены основные концепции построения систем ИИ, адекватных основным задачам деятельности человека и использующих гибридные средства с многозначным кодированием. С материалистической точки зрения эти концепции согласуются с открытыми человеком законами диалектики и их проявлениями в задачах, связанных с распознаваниями образов: законом единства и борьбы противоположностей — в виде наличия параллельно действующих в пространстве и времени механизмов как дискретного, так и непрерывного отображения объектов; законом перехода количественных изменений в качественные — количественные изменения уровня градации яркости и цвета приводят к качественным изменениям в отображении объектов; законом отрицания отрицания (двойного отрицания) — в виде изменения и чередования признаков кодирования сообщений об объектах в нейронах мозга — от пространственного к временному и от двузначного к многозначному.

Процессы распознавания образов в системах ИИ, создаваемых в настоящее время, реализуются на процессорах фон-Неймана, характеризующихся итеративными алгоритмами функционирования. Тогда для распознавания, к примеру, черно-белого изображения, состоящего из 400 точек, имеющих только две градации яркости, путем последовательного перебора возможных решений процессор фон-Неймана должен выполнять  $2^{400}$  операций (в десятичной системе счисления это  $10^{119.5}$ ). Для сравнения: число атомов в видимой Вселенной  $10^{73}$ . Это сравнение и ряд других, схожих с ним, побуждает создателей систем ИИ к поиску выхода из создавшегося положения.

В частности, в работах [3-5] сделан акцент на концепции нейрофизиологических и нейрокибернетических аспектов механизмов живого мозга. Связано это с тем, что естественные нейронные структуры из нервных клеток - нейронов, по существу, являются высокоэффективными распознающими системами и, по этой причине, представляют интерес не только для медиков и физиологов, но и для инженеров, занимающихся проектированием систем ИИ. Однако прямой перенос результатов исследований нейрофизиологов в инженерную практику в настоящее время невозможен из-за отсутствия соответствующей биоэлектронной технологии и элементной базы, что привело к разработке и созданию множества разновидностей искусственных нейронов, реализованных на элементах импульсной техники. Но и здесь возникли осложнения из-за неадекватности нейронных моделей множеству требований, предъявляемых к системам ИИ. Как альтернатива, в работах [3, 4] предлагается создание нейроподобных моделей на основе техники многопроцессорных вычислительных систем с програм-

мируемой архитектурой, в частности, на основе цифровых интегрирующих структур. Таким образом, сохраняя структуру фон-Неймана, строятся системы ИИ, являющиеся существенно двузначными, но моделирующими нейронные процессы пространственного суммирования разных по уровню воздействий, инерциальных и пороговых свойств нейронных мембран, а также изменения частоты следования передаваемых сообщений. Хотя очевидно, что все перечисленные свойства и функции многозначны и дискретны по уровню.

Как следствие, неадекватность используемых принципов кодирования и элементной базы моделируемым процессам влечет за собой избыточность, усложнение и неочевидность используемого математического и технического аппарата преобразований, потерю микроуровня параллелизма в обработке, ожидаемого быстродействия и гибкости перестройки структуры без существенных изменений архитектуры и связей.

### 3 Концептуальная модель ячейки многозначной системы

Изложенные концепции, теоретические и экспериментальные исследования и возникающие осложнения при создании систем ИИ способствуют выдвижению концепции адекватности многозначной логики и структур задачам создания систем ИИ с желаемыми свойствами и возможностями. В частности, универсальные многозначные структуры пространственного типа изначально (на микроуровне) обладают максимальным параллелизмом (быстродействием) на уровне элемента структуры, работают с многоуровневым сигналом; обладают универсальностью в рамках выбранного структурного алфавита и гибкостью перестройки без изменения самой структуры; реализуют неразрывную связь как многозначного, так и двузначного кодирования, т.е. предоставляют возможность наглядного соотнесения аналоговых и многозначных алгоритмов, закладываемых в операционные, программно-управляющие и запоминающие средства, использующие двузначное кодирование [6].

Сравнение эквивалентных по функциональным возможностям дву- и многозначных универсальных структур доказывает высокую экономичность и надежность последних при создании технических средств ИИ, а также их широчайшие функциональные возможности. Кроме того, в работе [9] отмечается, что многозначные алгебры Мальцева-Поста (итеративные алгебры функций) в последнее время находят все более широкое применение в кибернетике, теории алгоритмов и программировании, при создании высокоэффективных систем и методов управления базами данных (ассоциативными базами данных), а в работах [6-8] дан анализ возможного применения математического аппарата АКП при создании мозгоподобных преобразователей информации.

В этой связи для раскрытия путей использования задела знаний в области многозначного кодирования и структур при создании систем ИИ предлагается концептуальная структурно-функциональная модель ячейки многозначной системы ИИ [6]. Каждая система ИИ характеризуется набором функций, выполняемых ею и узлами, которые реализуют эти функции и информационные обмены. В соответствии с решаемыми задачами структурно-функциональная ячейка распадается на три иерархических уровня: функциональный (аналитико-синтетический); тактический (анализаторно-координационный); стратегический (координационный). Соответственно на функциональном уровне в состав ячейки входит коммутатор многозначных сигналов, комплекс пороговых устройств, дешифраторы промежуточных признаков, формователи многозначных функций. Коммутатор многозначных сигналов служит управляющим устройством по входу системы ИИ, определяющим от какого входного сигнала ей работать: извне или стратегического уровня. Комплекс пороговых устройств позволяет реализовать преобразование непрерывных или дискретных по времени и уровню многозначных входных сигналов в пространство существенно многозначных характери-

ческих функций, семантическую обработку входного сигнала системы, а также формирование пространства промежуточных признаков неоднородного преобразования. Промежуточные признаки (пространство существенно многозначных характеристических функций) дешифрируются далее в управляющие сигналы выходного комплекса формирователя многозначных функций, реализующего аналитические функциональные преобразования. Результат преобразований на функциональном уровне поступает на выход ячейки, а также на стратегический уровень для оценки с точки зрения семантического содержания.

*Тактический* уровень системы ИИ в данной модели реализуется с помощью анализаторно-координационного процессора, в задачи которого входит управление коммутатором входных сигналов, настройкой порогов пороговых устройств функционального уровня, дешифраторов промежуточных признаков с целью выбора вида реализуемого функционального преобразования и синхронизации работы тактического, функционального и стратегического уровней. Кроме того, процессор тактического уровня осуществляет функциональные настройки (выбор вида реализуемых многозначных функций) формирователя многозначных функций. На *стратегическом* уровне процессор-супервизор позволяет системе ИИ осуществлять окончательный семантический анализ с участием оператора, обмен данными с оператором, входом и выходом данной ячейки, с базой знаний системы, а также контролировать в автоматическом и диалоговом режиме процесс решения задач на тактическом уровне. Последнее дает возможность проследить процедуры реализации произвольного алгоритма на всех этапах его выполнения и, тем самым, осуществить селекцию и накопление в базе знаний эффективных алгоритмов из множества других, менее эффективных.

Ячейка системы ИИ наращивается на функциональном уровне как по входам, так и по выходам, а также объединяется с другими ячейками по входам дешифраторов промежуточных признаков: на тактическом уровне — через анализаторно-координационный процессор; на стратегическом — через процессор-супервизор и базу знаний. Концептуальная модель ячейки системы ИИ базируется на концепции симбиоза (неразрывной связи и взаимодействия) дву- и многозначных средств обработки данных, поэтому на стратегическом уровне в ней содержатся комплексы преобразователей формы представления данных — преобразователи из двузначного кода в многозначный ( $2 \rightarrow k$ ) и обратно ( $k \rightarrow 2$ ). Очевидно, что их использование в системе ИИ определяет, на каком уровне решаются задачи, в какой логике и с каким быстродействием (какова пропускная способность системы ИИ). Кроме того, применение этих средств исключает необходимость работы оператора с двузначными трансляторами при вводе-выводе данных.

#### 4 Обоснование выбора многозначного кодирования в системах ИИ

Во всех разрабатываемых, описываемых и анализируемых системах ИИ в настоящее время безоговорочно и исключительно используется двузначное кодирование, алгебра логики и соответствующее программное обеспечение. Как альтернатива существует умозрительное направление многозначной логики и структур на ее основе, использующих многоуровневое кодирование и характеризующихся большей степенью общности, в сравнении с двузначным, а также безграничными возможностями в функциональном отношении, но практически мало или совсем неиспользуемое в вычислительной технике и системах ИИ. В настоящей работе предлагается не противопоставлять эти два подхода, а по аналогии с естественным интеллектом исследовать возможность симбиоза, который в универсальных многозначных структурах пространственного типа постоянно существует: значность, равная двум, всегда присутствует в многозначных построениях и всегда ими используется, не являясь альтернативой многозначности.



Эта фундаментальная и элементарно простая предпосылка позволяет взглянуть на задачу создания систем ИИ с кардинально других позиций, отслеживается и обрабатывается во всем ее дальнейшем изложении. Как подход к созданию систем ИИ такая концепция позволяет уже сегодня, на основе имеющейся в серийном производстве микроэлектронной элементной базы, в частности параллельных аналого-цифровых преобразователей и многоканальных быстродействующих аналоговых коммутаторов, цифро-аналоговых преобразователей разрабатывать, создавать и исследовать системы ИИ по структуре, представленной на рисунке 1.

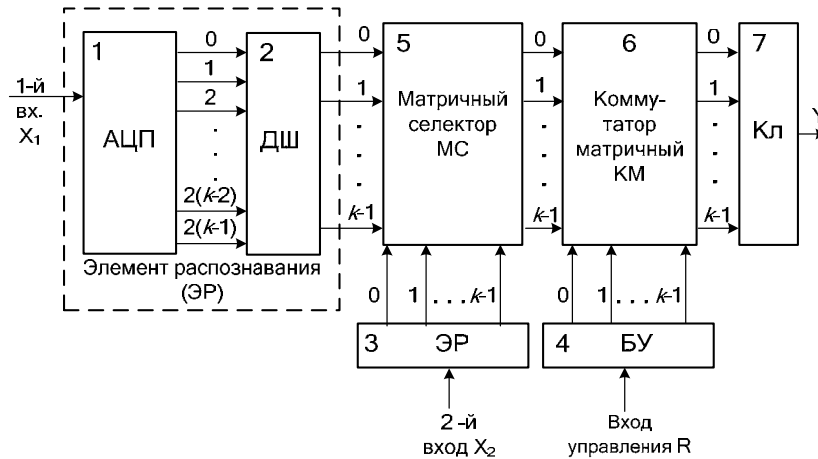


Рисунок 1 - Двухвходовый многозначный УФП (АКП-структура третьего рода)

АКП-структура третьего рода на основе двухвходового многозначного универсального функционального преобразователя (УФП) [6, 7] включает такие компоненты: элемент распознавания  $k$ -значной переменной, который образован параллельным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) вместе с пространственным дешифратором (ДШ), матричный селектор и матричный коммутатор, блок управления, параллельный цифро-аналоговый преобразователь (ключевой коммутатор). Описав логику работы этих компонент соответствующими уравнениями АКП, получим их математические модели. Использование концепции унификации и данной алгебры обеспечит граничный параллелизм и однородность структуры в целом. Получение аналитических соотношений входных/выходных переменных составляющих компонент позволит формализовать и автоматизировать процедуры синтеза многозначных структур пространственного типа [6, 7, 9]. Причем существующая элементная база не требует никаких доработок, и даже наоборот — позволяет снизить требования к допускам по точности в случае ее использования в составе многозначных структур. Таким образом, применение двухвходовых АКП-структур третьего рода, а также построение пространственного дешифратора, матричного селектора и коммутатора на элементах конъюнкции позволило обеспечить однотипность и однородность ее внутренней структуры, а также повысить быстродействие за счет граничного параллелизма структуры. В АКП-структуре используются логические, а не вычислительные методы промежуточных преобразований с применением концепции унификации двух- и  $k$ -значного кодирования, что обеспечивает упрощение структуры промежуточных субблоков матричного селектора и коммутатора (рисунок 2).

В задачах разработки и создания многозначных систем ИИ первостепенной является проблема сложности многозначных элементов и структур. С одной стороны, системы ИИ должны обладать предельно высоким быстродействием, достигаемым обычно за счет распараллеливания процессов преобразования информации, с другой — параллелизм обработки приводит к увеличению аппаратных затрат вообще, а в многозначных структурах параллельного (пространственного) типа еще с ростом значности структурного алфавита, в част-

ности. Отсюда делается вывод о несравнимо большей сложности многозначных структур по сравнению с двузначными и, как следствие их меньшей надежности. Однако результаты исследований, сравнимых по логической мощности универсальных многозначных и двузначных структур, показали полную несостоятельность такого вывода. Более того, подробный анализ совокупных свойств многозначных и двузначных структур показывает, что в отношении необходимой вводимой избыточности, обеспечивающей работоспособность структур с произвольным структурным алфавитом, избыточность является неизбежной и не всегда она меньше у двузначных структур [9].

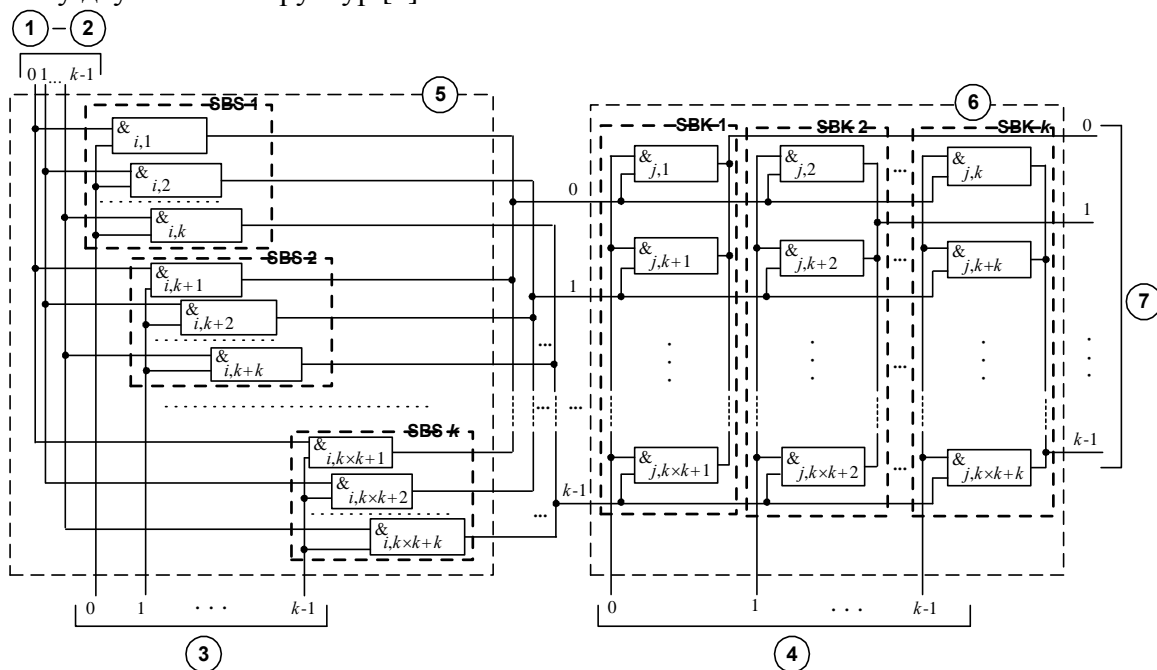


Рисунок 2 - Структура и логика реализации комбинационно-матричных схем (селектора; коммутатора)

## Заключение

Таким образом, приведенные результаты позволяют сделать следующий вывод: использование новых алгебро-логических средств моделирования естественно-языковых конструкций в виде системы уравнений на языке АКП и явного способа задания конечного алфавитного оператора, который лежит в основе аппаратного метода решения этих уравнений, обеспечивает реализацию свойства обратимости АКП-структур и широкое распараллеливание обработки символьной информации. Фундаментальные исследования алгебро-логической структуры естественного языка, а также алгебро-логических средств его моделирования в виде соответствующих АКП-структур позволяют вплотную подойти к решению важной научной проблемы: созданию качественно новых технологий обработки символьной информации на базе концепции унификации и методов синтеза обратимых логических модулей на основе универсальных многозначных преобразователей информации.

## Список источников

- [1] **Бондаренко, М.Ф.** Мозгоподобные структуры: справочное пособие. Т.1 / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко. – К.: Наукова думка, 2011. – 460 с.
- [2] **Четвериков, Г.Г.** Формалізація принципів побудови універсальних k-значних структур мовних систем штучного інтелекту / Г.Г. Четвериков // Доповіді НАН України. – 2001.– №1(41). – С. 76 –79.

- [3] **Каляев, А.В.** Нейроподобные моделирующие и вычислительные структуры / А.В. Каляев, И.А. Каляев // Электронное моделирование. – 1986. – №2. – С.3-9.
- [4] **Абу-Мустафа, Я.С.** Оптические нейронно-сетевые компьютеры / Я.С. Абу-Мустафа, Д.И. Псалтис // В мире науки. – 1996. – №5. – С.42-52.
- [5] **Бодянский, Е.В.** Самообучающаяся нейро-фази система для адаптивной кластеризации текстовых документов / Е.В. Бодянский // Бионика интеллекта. – 2009. – № 1(70). – С. 34-38.
- [6] **Бондаренко М.Ф.** Основи теорії багатозначних структур і кодування в системах штучного інтелекту / М.Ф. Бондаренко, З.Д. Коноплянко, Г.Г. Четвериков. – Харків: Фактор-друк, 2003. – 336 с.
- [7] Патент 2147789 РФ, МКВ Н 03 К 19/02, Н 03 М 1/00. Функциональный преобразователь с многозначным кодированием / М.Ф. Бондаренко, З.Д. Коноплянко, Г.Г. Четвериков (Україна). – №97101717/09; Заявл. 04.02.97; Опубл. 24.04.2000, Бюл.№11. – 6 с.
- [8] **Вечірська, І.Д.** Математичні аспекти побудови ланцюгів лексичних одиниць / І.Д. Вечірська, Г.Г. Четвериков // Бионика интеллекта. – 2012. – № 2(79). – С. 84-88.
- [9] **Бондаренко, М.Ф.** Концепції уніфікації інформаційно-інтелектуальних технологій в системах мовлення / М.Ф. Бондаренко, З.Д. Коноплянко, Г.Г. Четвериков // Бионика интеллекта. – 2011. – №3(77). – С.150–156.

### Сведения об авторах



**Четвериков Григорий Григорьевич**, 1952 года рождения. В 1974 году окончил Харьковский институт радиоэлектроники (ныне – Харьковский национальный университет радиоэлектроники) по специальности «Прикладная математика». Доктор технических наук (2005), профессор, профессор кафедры программной инженерии. Директор межрегионального Центра прикладной и математической лингвистики Украинского языкового информационного фонда НАН Украины и Харьковского национального университета радиоэлектроники. Имеет более 150 научных публикаций.

**Grigoriy Chetverikov** (b. 1952) graduated with honours (1974) from Kharkov Institute of Radioelectronics, speciality “Applied Mathematics”. He received his Doctor of Engineering degrees (2005). Professor subdepartment “Software Engineering”. He has got more than 150 scientific publication. He current research interests include description of declarative knowledge with help of formal logic.

**Кнышова Елена Сергеевна**, 1987 года рождения. В 2009 году окончила Национальную юридическую Академию им. Ярослава Мудрого по специальности «Прокуратура и правоведение». Ассистент кафедры правоведения факультета экономики и банковского права Севастопольского института банковского дела Украинской Академии банковского дела Национального Банка Украины. Имеет 3 публикации.

**Helen Knyshova** (b. 1987) graduated from Kharkov National Law Academy (2009), Presecutor Law Department. She current research interests include description of declarative knowledge with help of formal logic.

**Вечирская Ирина Дмитриевна**, 1979 года рождения. В 2001 году окончила Харьковский институт радиоэлектроники (ныне – Харьковский национальный университет радиоэлектроники) по специальности «Прикладная математика». Кандидат технических наук (2008), старший научный сотрудник (2012). Имеет более 50 научных публикаций.



**Iryna Vechirska** (b. 1979) graduated with honors (2001) from Kharkov Technical University of Radioelectronics, specialty «Applied Mathematics». She received her PhD in Technical Science (2008), senior scientist (2012), associate professor of subdepartment “Software Engineering”. She has got than 50 scientific publication. She current research interests include description of declarative knowledge with help of formal logic.