

УДК 621.3

В.И. БАРСОВ¹, В.А. КРАСНОБАЕВ², KHERE ALI ABDULLAH³, О.В. ЗЕФИРОВА²¹ Украинская инженерно-педагогическая академия, Украина² Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им Петра Василенко, Украина³ Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Украина

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДУЛЯРНОЙ АРИФМЕТИКИ

Предложена концепция создания нейрокомпьютеров (НК) на основе использования непозиционных кодовых структур модулярной арифметики (МА), применяемых для решения задач контроля и управления сложным, пространственно разнесённым комплексом, например, комплекс обеспечения электромагнитной совместимости. Использование кодов МА позволяет повысить степень адекватности процессов обработки информации в НК и в искусственных нейронных сетях, что, в свою очередь, повышает надежность функционирования НК и производительность обработки информации.

нейрокомпьютер, нейронные сети, модулярная арифметика, система счисления в остаточных классах, система управления сложным, пространственно разнесённым комплексом, электромагнитная совместимость, надежность, производительность

Введение

Постановка задачи. Неуклонный рост объёмов информационных потоков, циркулирующих в современных управляющих и диагностических системах, наряду с ужесточением требований по работе в реальном времени, жестко ставят проблему обеспечения выполнения векторно-матричных операций большой размерности. Такие задачи способны решать, как правило, только вычислительные системы с высоким параллелизмом обработки информации, в качестве которых все большее применение находят нейрокомпьютеры. Поэтому, в настоящее время вновь многих исследователей и проектировщиков методов и средств обработки цифровой информации интересует проблема создания на основе концепции функционирования нейронных сетей головного мозга человека искусственных нейронных сетей (ИНС), которые выполняют функции высоконадежных, отказоустойчивых и сверхбыстродействующих вычислительных устройств. В теории ИНС эти вычислительные устройства называют нейрокомпьютерами

(НК). Нейрокомпьютеры – это компьютеры, созданные на основе принципов построения и функционирования искусственных нейронных сетей (рис. 1). Основные свойства НК – сверхвысокая надежность функционирования и высокая производительность обработки информации. В свою очередь, ИНС порождены функциями и структурой биологических нейронов человеческого мозга (ЧМ) и должны, по возможности, дублировать отдельные функции ЧМ.

НЕЙРОКОМПЬЮТЕР

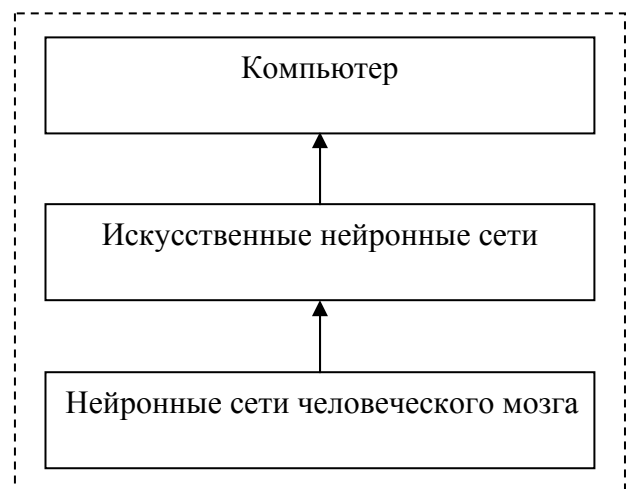


Рис. 1. Структурная схема нейрокомпьютера

С одной стороны, ИНС – это математическая или (и) физическая модель (совокупность моделей), основанная на идее, концепции, принципах, методах и алгоритмах построения структуры и функционирования нейронных сетей головного мозга человека. С другой стороны, ИНС – это очень большой размерности параллельно-взаимосвязанные сети, объединяющие элементарные вычислительные элементы, которые предназначены для взаимодействия с объектами реального мира, т.е., с технической точки зрения, ИНС – это система сверхпараллельной обработки информации.

Основой, составляющей структуру НС, есть нейроны, совокупность которых и связи между ними обеспечивают высокую надежность функционирования ЧМ.

Нейрон ЧМ является основным элементом нервной системы человека. С точки зрения вычислительного процесса нейрон еще можно определить как простейший вычислительный элемент ЧМ. Идея нейронного управления позаимствована у биологических систем. При этом принципы обработки информации ЧМ существенно отличаются от принципов функционирования НК.

Отметим, что современные ИНС обладают следующими свойствами биологических НС:

- каждый нейрон НС функционирует независимо от других нейронов;
- каждый нейрон НС содержит индивидуальную информацию о соединении в сети с другими нейронами;
- большое количество возможных соединений между нейронами в сети создает глубоко резервированную вычислительную структуру параллельной обработки информации.

Можно предположить, что разноплановые системы управления будут в будущем дополнены нейронными структурами, а в ряде случаев и полностью ими заменены. Основным признаком интеллектуальности таких систем управления можно считать их способность самостоятельно решать поставлен-

ные информационные задачи. Выполняемые при этом распознавание, анализ и выработка варианта решения задачи могут формироваться самостоятельно с помощью нейронных сетей на верхнем уровне управления, на основе анализа информации от многочисленных внешних сенсоров [1 – 3].

В этом аспекте важны и актуальны исследования, посвященные поискам путей построения высоконадежных и быстродействующих НК на основе принципов функционирования НС ЧМ, т.е. актуальны разработки моделей ИНС, адекватные биологическим НС.

Таким образом, нейрокомпьютеры могут быть универсальным инструментом построения и реализации эффективных информационных моделей сложных информационно-управляющих систем широкого назначения.

Анализ литературных источников. За последние годы, после почти двух десятилетий забвения, опять резко возрос научный и практический интерес к синтезу систем искусственного интеллекта (ИИ), созданного на основе использования принципов обработки информации ИНС [4 – 6].

На современном этапе развития кибернетических систем в процессе исследований определилась основная цель создания моделей, методов и систем ИИ – имитация мыслительной деятельности человека, т.е. передача вычислительным средствам (нейрокомпьютерам) "неинтеллектуальных" задач для разгрузки человека от неэффективной и трудоемкой механической работы. Возрастающие требования к качеству управления сложными объектами и процессами в реальном времени, а также решения проблем обеспечения высокой пользовательской производительности обработки информации, надежности, отказоустойчивости и живучести функционирования вычислительных средств обработки информации определяют необходимость создания и применения различных систем ИИ как высшей ступени развития информационной, в частности, кибернетической техники [7].

Проблема исследования возможностей воспроизведения функций человеческого мозга (в частности, информационная и конструктивная надежность, быстродействие, объем памяти и т.п.) является одной из кардинальных задач кибернетики. Результаты решения этой проблемы могут быть использованы для воспроизведения отдельных аспектов его функционирования в технических и информационно-управляющих системах различного назначения.

Синтезировать ИИ можно только после создания "концептуального моста", который дает возможность максимально использовать знания из различных областей науки о принципах работы человеческого мозга. Хотя структура человеческого мозга и периферийной нервной системы существенно отличаются от структуры НК и организации ее работы в целом, некоторые аспекты их работы можно исследовать по принципу "черного ящика". Чтобы синтезировать системы, выполняющие задачи ИИ, необходимо выделить основные особенности таких систем:

- наличие в них собственной внутренней модели внешнего мира;
- способность наполнения имеющимися знаниями (способность к самообучению);
- способность к дедуктивному выводу;
- понимание естественного языка;
- способность к диалоговому взаимодействию с человеком;
- способность к адаптации;
- возможность выполнения заданных функций в реальном времени;
- высокая надежность, живучесть, отказоустойчивость и пр.

Задачи систем ИИ на каждом этапе развития общества различны, т.е. различны и требования, предъявляемые человеком к нейрокомпьютерам.

Главные задачи систем ИИ на данном этапе развития технических и информационно-управляющих систем переработки информации следующие:

- доказательства и решения математических теорем и задач;

- разработка моделей игр (шахматы, шашки, командно-штабные учения и т. п.);
- распознавание образов (основная задача ИНС);
- робототехника;
- разработка систем поддержки принятия решений;
- построение интеллектуальных систем управления;
- переводы с одного языка на другой;
- экспертные системы;
- управление сложными техническими системами и процессами в реальном времени;
- решения задачи электромагнитной совместимости большого числа разнообразных комплексов связи, радионавигации и радиолокации [8] и пр.

Отметим, что почти все перечисленные задачи могут быть использованы (и уже используются) в военном деле. В этом аспекте создание НК и их применение в автоматизированных системах управления военного назначения могут существенно повысить боевую эффективность применяемого оружия. Эффективность использования нейрокомпьютеров для обработки радио и гидролокационной информации, причем как на уровне первичной, так и на уровне вторичной обработки, уже не новость. Разработанные системой ИИ модели игр могут быть использованы при планировании и проведении боевых действий в глобальном масштабе, что может быть не под силу военному штабу любого уровня. Методы распознавания образов можно использовать в приборах и устройствах ночного видения, в самонаводящихся беспилотных самолетах и снарядах, а также при разработке системы наведения крылатых ракет. Достижения робототехники, основанные на применении современных концепций и идей построения систем ИИ, могут быть применены при создании безлюдных средств уничтожения живой силы и техники противника и, наконец, в экспертных системах. Эти системы представляют собой информационные объекты, которые выполняют функции хранения, пополнения и выдачи информа-

ционных справок потребителю. Экспертные системы могут найти широкое применение в АСУ военного назначения в качестве "советчика" оператора в типовых (или даже в тупиковых!) ситуациях [4, 7].

Необходимо кратко отметить несколько этапов развития в мире теории ИНС. Первый этап (двадцатые годы прошлого столетия), когда в бывшем СССР даже был создан институт по изучению мозга человека. Наиболее интенсивные исследования мозга человека в это время проводились также в Германии и во Франции. Второй этап – 40-60 годы прошлого века. Второй этап всплеска интереса к ИНС был связан, прежде всего, с развитием науки об управлении – кибернетики. Значительных успехов в изучении ЧМ достигли нейробиологи и нейроанатомы. В процессе изучения ЧМ выяснилось, что НС головного мозга человека (состоящая из сотни миллиардов нейронов и связей между ними) образует сверхсложную, но и сверхэффективную информационно-управляющую систему. В этом аспекте ученые пытались создать вычислительные системы – нейрокомпьютеры, созданные на основе ИНС. Так, созданная в 1949 году модель обучения Д. Хэбба явилась базовой для синтеза ИНС [6]. В 50-60 годы были созданы первые искусственные нейронные сети. Используя идеи таких ученых, как Минский, Розенблатт, Уидроу и многих других были разработаны и предложены ИНС, состоящие из одного слоя искусственных нейронов. Такие сети были названы перцептронами и использовались, в первую очередь, для решения задачи предсказания погоды и анализа результата проведенных электрокардиограмм. После этого почти на 20 лет ИНС были практически забыты.

Развитие теории многослойных ИНС и широкое использование новых информационных технологий привело к третьему (современному) этапу интереса к данной проблеме. Так, в 1987 году уже было проведено 4 Международные научно-технические конференции по проблеме создания и практического внедрения ИНС. В настоящее время ИНС уже ши-

роко используются для: преобразования текста рукописи в речь; для распознавания рукописного текста; сжатия изображений; управления достаточно сложными объектами; использования в качестве элементов ИИ (экспертные системы); для расширения понятия "вычисления" и пр.

Первые цифровые компьютеры рассматривались как "электронный мозг – аналог человеческому мозгу". Однако, принципы и организация функционирования ЧМ и компьютера на техническом уровне фундаментально отличны. Подобие состоит только в полученных результатах вычислений. Так, по сравнению с огромной скоростью вычислений современных компьютеров, частота нервных импульсов ЧМ небольшая (нейроны взаимодействуют путем передачи коротких серий импульсов частотой до сотен герц, а время выполнения операции одним нейроном не превышает несколько миллисекунд). В то же время, задача распознавания объекта (образа) в ЧМ решается за несколько миллисекунд. Такая высокая скорость обработки информации в ЧМ при низком быстродействии нейронов достигается огромным числом (кора головного мозга человека состоит из 10^{11} – 10^{12} нейронов, каждый из которых связан с 10^3 – 10^4 другими нейронами) одновременно параллельно взаимодействующих нейронов. Второе существенное отличие компьютеров от ЧМ – диапазон возможных ошибок вычислений. Мозг человека осуществляет лучше, чем компьютер, вычисление (угадывания) результата вычислений при воздействии на него неблагоприятных факторов (при неявных (размытых) значениях входных данных). И, наконец, третье. Нейрокомпьютеры могут быть использованы в системах ИИ, где, возможно, на карту поставлены человеческие жизни, т.е. вычислители, созданные на основе использования ИНС, должны отвечать в первую очередь, повышенным требованиям по надежности, отказоустойчивости и живучести функционирования.

Несмотря на актуальность проблемы создания технических систем ИИ, переход от изучения про-

цесса переработки информации в мозговых системах человека к непосредственному применению результатов исследований в технических системах наталкивается на серьезное препятствие – отсутствие удовлетворительной адекватной информационной модели ИИ, соответствующей современным представлениям об информационной деятельности мозга. Природа мышления, работа человеческого мозга (принципы, методы и алгоритмы обработки информации) во многом еще не познаны, и технические системы ИИ вовсе не обязаны полностью копировать работу мозга.

Таким образом, актуальность исследований, посвященных разработке гипотезы о существовании и функционировании человеческого интеллекта, очевидна. Поскольку существующие знания и развитие техники не позволяют создать ИИ в соответствии со структурно-функциональной организацией процесса переработки информации человеческим мозгом, целесообразно хотя бы на стадии разработки гипотезы рассмотреть вопросы, связанные с такой переработкой информации. Данное явление связано с тем, что мозг человека и его нервная система в целом представляют собой совершенную информационно-управляющую систему [9 – 11]. Таким образом, разработка кибернетических гипотез (построение адекватных моделей) о возможных информационных механизмах мышления в человеческом мозге должна проводиться в комплексе с нейрофизиологическими исследованиями или при не противоречии основным положениям нейропсихологии [12]. Кроме этого, только при объединении теоретических школ различных научных направлений (биологи, медики, нейрофизиологи, математики, инженеры-практики, философы, электрохимии, психологи, биохимики, физики и пр.) станет возможным вплотную подойти к решению проблемы создания и практической реализации ИНС. Это, в свою очередь, даст возможность в системном аспекте решить проблему создания нейрокомпьютеров.

Рассмотрим одну из возможных гипотез струк-

турно-функциональной организации переработки информации человеческим мозгом, основанную на предположении, что обработка информации в мозговых системах осуществляется в модулярной арифметике (в непозиционной системе счисления в остаточных классах).

Для обоснования принципов структурно-функциональной организации деятельности мозга необходимо выявить механизм фактора, обеспечивающего высокую надежность функционирования мозга, его способность с большой скоростью перерабатывать огромные массивы информации. Желательно выдвинуть хотя бы теоретические предположения, как, возникнув в процессе эволюции, мог сохраниться и развиваться мозг с такой избыточностью и уникальной возможностью восстановления памяти (информации) за счет восстановления потерянной информации из других частей мозга. Сейчас уже доказан факт [13] обеспечения различных информационных функций мозга не единой структурой, а системой со многими звеньями. Наличие такой системы допускает принципиальную, хотя нередко и трудно реализуемую возмещимость потери ее отдельного звена (части информации). Разрушение даже нескольких гибких звеньев мозговых систем обеспечения психических функций может не вызвать заметного дефекта, однако наличие таких звеньев и, прежде всего, с точки зрения возможности функционирования системы в различных условиях внешнего мира и внутренней среды человеческого мозга – также является одним из факторов надежности [13, 14]. Важнейшим фактором надежности мозга служит полифункциональность многих его структурных образований, или, точнее, их нейронных (первичных нейронных структур – ПНС) популяций. Отметим основные информационные особенности человеческого мозга.

1. Большая (возможно безграничная) информационная вместимость.

2. Большая информационная, структурная, нагрузочная, временная и функциональная избыточ-

ность, которая и обуславливает высокую надежность и живучесть человеческого мозга.

3. Возможность восстановления утраченной информации за счет использования неповрежденных частей мозга, что соответствует применению структурного и функционального резервирования в технических системах. Это обеспечивает высокую надежность и достоверность переработки информации.

4. Большой объем одновременно перерабатываемой информации.

5. Большая скорость обработки информации.

Как отмечалось выше, НК должны обладать свойствами высокой надежности функционирования и высокой производительностью вычислений. Современные нейрокомпьютеры базируются на весьма упрощенных моделях ИНС, которые весьма не адекватно отражают процессы обработки информации в ЧМ. Повышая степень адекватности моделей ИНС к ЧМ, повышается и надежность НК. В этом аспекте постоянная задача теории создания ИНС – совершенствования методов и моделей обработки информации, приближая их к процессам обработки информации человеческим мозгом, и при этом достигая, в первую очередь, высоких показателей по надежности функционирования и производительности вычислений.

Научный и технический прорыв в области теории и практики создания НК, прежде всего, требует развития нового теоретического фундамента. Такой фундамент должен быть создан на основе новых математических методов и подходов, возможных для хотя бы частичного адекватного описания процесса функционирования ЧМ. Наверное, впервые такой математический аппарат для возможно более адекватного описания деятельности человеческого мозга был предложен в [15]. Предложенный математический аппарат относится к известным разделам теории чисел и называется модулярной арифметикой (МА) или системой счисления в остаточных классах (СОК). Он детально описан, в литературных источниках, например, в [16, 17]. Большой предва-

рительный анализ возможности эффективного использования МА для создания НК, который был проведен в [15, 18 – 20], показал положительные результаты применения СОК.

Цель данной статьи – продолжение исследований возможности эффективного использования кодов модулярной арифметики для повышения надежности (отказоустойчивости) функционирования и производительности обработки информации нейрокомпьютеров управляющих систем реального времени, а также выявления признаков и свойств НК, в соответствии с которыми он создается.

Основная часть

При создании НК возможны три принципиальных подхода к их синтезу: на основе познанных (или предполагаемых) методов переработки информации человеческим мозгом; на иных (пока неизвестных) принципах, чем в живой природе; на основе комбинированных (симбиоза) методов (технических и живой природы) обработки информации

Проблема создания систем ИИ и НК содержит множество вопросов как социально-общественного, философского характера, так и научно-технического. Однако в одной работе невозможно осветить все аспекты познания ИИ, в связи с этим, как было сказано выше, ограничимся рассмотрением одного из возможных вариантов процесса переработки информации мозгом человека. Рассмотрим, как согласуется информационно-структурная модель мозга и основные принципы переработки информации в МА.

В МА операнды A_k представляются совокупностью остатков $a_i = A_k - [A_k / m_i] m_i (i = \overline{1, n})$, полученных от последовательного деления их на выbranную систему оснований $\{m_i\}$.

Чаще всего рассматривается СОК, для которой основание m_i выбираются целыми и положительными числами, причем система оснований выбирается так, чтобы основания были попарно взаимно про-

стыми, т.е. НОД $(m_i, m_j)=1$, при $i \neq j$. Таким образом, из принципа построения кода видно, что в СОК каждый остаток a_i несет информацию обо всем исходном объекте G , описываемым информационным кодом $A_k \left(k=1, \overline{\prod_{i=1}^n m_i} \right)$, а объем представления кодовых слов определяется следующим числовым диапазоном

$$\left[0, \overline{\prod_{i=1}^n m_i - 1} \right].$$

При этом между числами в МА и числами в позиционной системе счисления (ПСС) существует взаимно однозначное соответствие. Чем больше количество n оснований СОК и чем больше они по величине, тем точнее описывается информационный объект G . Это аналогично тому, что на осколке голографической пластины изображение объекта G менее четко, чем на самой пластине. Если же взять часть голограммы (часть из n оснований СОК) и приложить к ней несколько таких же частей (добавить несколько оснований СОК), то изображение объекта G станет более четким (объект G отображается полнее и информативней). Далее в статье будет показано, что существует аналогия между принципами и методами обработки информации в СОК и принципами построения голограмм.

Пусть $\{G\}$ – заданный объем перерабатываемой информации об объекте G и при этом $\{G\}_M = (\{g_1\}, \{g_2\}, \dots, \{g_i\}, \dots, \{g_n\})$ — объем перерабатываемой информации, представленной в МА; $G = (g_1, g_2, \dots, g_n)$ — числовой код, соответствующий заданному $\{G\}_M$ объему информации. Будем считать, что $\{g_i\} \Leftrightarrow g_i$, т.е. определенный конечный объем $\{g_i\}$ информации однозначно соответствует элементу числового кода g_i , представленному как наименьший положительный остаток от деления числа G на целое положительное число m_i , т.е. $g_i = G - [G/m_i] m_i$ ($m_i - i$ -е основание СОК; $i = \overline{1, n}$) [15].

Пусть в качестве элемента обработки мозгом

информации $\{g_i\}$ служит ПНС, совокупность которых составляет НС. В этом случае предполагается, что каждая ПНС мозга обрабатывает заданный объем информации $\{G\}$, соответствующий числовому коду G , по своему определенному основанию m_i СОК. Таким образом, информация $\{G\}$, поступающая в мозг, преобразуется к виду $\{G\}_M$ и далее перерабатывается в НС ЧМ по частям $\{g_i\}$ каждой ПНС в отдельности. При этом отдельная часть $\{g_i\}$ несет информацию обо всей исходной – $\{G\}$. Условие однозначного определения перерабатываемого объема $\{G\}_M$ информации, выраженного числовым кодом G , определится следующим выражением:

$$\prod_{i=1}^r m_{k_i} \geq G_1, \quad (1)$$

где $m_{k_i} \in (\overline{m_1, m_n})$.

$$\text{При этом} \quad n \gg \rho. \quad (2)$$

Неравенства (1) и (2), а также неравенства (3):

$$m_i \geq \prod_{\beta=1}^v m_{z_\beta}, \quad (3)$$

определяющее условие возможности замены одним основанием нескольких одновременно отказавших ($m_{z_\beta} < m_i$; $n \geq v$), показывают (с точки зрения нейропсихологии) возможность восстановления нарушенных (пораженных) ПНС головного мозга. Современная нейропсихология утверждает, что сложные формы психических процессов представляют собой сложные формы деятельности, существенно меняющие свою структуру по мере развития, и даже только поэтому механизм функционирования мозгового аппарата представляет сложную функционально-перестраиваемую систему. Так, почти любой участок мозговой коры может быть введен в ту или иную функциональную систему и использован для реинтеграции нарушенной работы мозгового аппарата, что обеспечивает высокую надежность, живучесть и отказоустойчивость мозга [9]. Таким образом, принцип реинтеграции нарушенных функциональных образований и перестройки связей ПНС

головного мозга соответствует основным корректирующим свойствам кодов в МА.

Мозг человека характеризуется одновременным функционированием всех его информационных структур, что обеспечивает глубокий параллелизм процессов переработки информации, не достижимый в компьютерах, функционирующих в ПСС. Совершенствование ИИ на базе цифровых компьютеров, функционирующих в ПСС, может иметь границы, из-за которых переход к решению задач ИИ более высокого класса, требующих учета глобального характера переработки информации, невозможен на дискретных цифровых машинах и системах при сколь угодно совершенных алгоритмах. Это значит, что техническая эволюция отражающих систем связана с изменением материального субстрата и структуры этих систем.

Существует предположение, что мозг человека работает по принципу аналоговой ЭВМ. Однако создание ИИ непосредственно на базе аналоговых принципов обработки информации, представленной в ПСС, лишает его некоторых важных и необходимых качеств. Созданные гибридные аналогово-цифровые системы переработки информации в ПСС хотя и показывают их значительную эффективность применения, однако требуют существенного совершенствования, в первую очередь, по пути распараллеливания решаемых алгоритмов. Повышение числа параллельно работающих процессоров приводит к необходимости увеличения количества оборудования, усложняет их математическое обеспечение, и хотя повышает системную производительность, но оставляет пользовательскую производительность в одних и тех же пределах. В этом плане можно утверждать, что структурная реализация процессов, идентичных процессам мышления в мозге человека и требующая создания новых принципов глобальной переработки информации, могла бы обеспечить эффективное решение нейрокомпьютерами задач систем ИИ.

В литературе рассмотрен оригинальный принцип построения гибридных аналогово-цифровых систем переработки информации, основанный на применении МА. Это позволяет распараллелить выполнение не только отдельных операций, но и саму элементарную операцию из-за отсутствия переносов между разрядами (остатками) числа, представленного в СОК, что обеспечивает значительное повышение пользовательской производительности систем переработки информации. Кроме того, применение МА позволяет построить простую аналоговую систему переработки информации, работающую с любой наперед заданной точностью.

Применение МА для построения аналогово-цифровых вычислительных систем впервые предложено в работе [16]. Дальнейшее решение данной проблемы нашло отражение в работе [17], где был предложен разрядно-аналоговый принцип создания систем переработки информации, функционирующих в МА. Результаты исследований, представленные в указанной монографии, также послужили толчком к разработке этой гипотезы.

При решении вычислительных и логических задач современные типы позиционных компьютеров не используют тех преимуществ, которыми обладает чувственный образ человеческого интеллекта по сравнению с его понятием, представленным в виде закодированного сообщения. Это связано, в первую очередь, с локальностью обработки информации, которая характерна для всех существующих цифровых и аналоговых позиционных вычислительных систем, независимо от характера их математического обеспечения. Разбиение вычисляемых алгоритмов на отдельные ветви повышает пользовательскую производительность вычислительных систем, но оставляет локальность характера переработки этой информации в каждой ветви алгоритма. Преодоление локального характера переработки информации с помощью вычислительных систем, функционирующих в позиционных системах счисления, прак-

тически невозможно. Определение методов глобальной переработки информации и их реализация в системах ИИ – один из главных путей ее совершенствования. Решение этой проблемы, разработка эффективных методов ее глобального охвата не могут быть осуществлены только путем совершенствования семиотических систем. В этом случае существенную роль играют голографические принципы переработки информации [11].

Так, любая часть голограммы объекта позволяет воспроизвести его целиком, причем, чем больше эта часть, тем точнее (информативнее) изображение этого объекта. На одну и ту же голограмму можно записать несколько изображений, а затем воспроизводить их по отдельности. Многие ученые полагают, что мышление представляет собой воспроизведение некоторого аналога голограммы. В этом случае при создании НК целесообразно использовать голографические принципы обработки информации. Данное обстоятельство обуславливает необходимость разработки НК, которые могли бы в определенной мере реализовать голографические принципы переработки информации.

Процесс вычислений в ИНС существенно отличается от обычных. Во-первых, это независимо от вычислительных алгоритмов высокопараллельные вычисления. Во-вторых, в нейронных сетях отсутствуют локальные области НС, в которых запоминается информация. Запоминание (хранение) информации происходит распределенным образом по структуре сети подобно голографическому изображению. Таким образом, НК, созданный на основе ИНС, должен обладать голографическими свойствами обработки и хранения информации.

Одним из методов технической реализации голографического принципа обработки информации является применение непозиционного кодирования обрабатываемой информации, и в частности, кодов в МА. Действительно, любая часть (остаток) закодированного в МА сообщения несет информацию $\{g_i\}$

обо всем исходном объекте G . Кроме того, чем больше количество оснований МА, тем точнее можно определить результат вычислений, что соответствует более полному восстановлению исходной информации $\{G\}$.

Посредством заданного набора оснований СОК можно одновременно представить несколько кодовых слов, выделяя для этого отдельные группы оснований. Отметим важное свойство МА (которое детально будет рассматриваться ниже) – возможность обменных операций в процессе переработки информации между скоростью ее обработки, точностью восстановления и надежностью процесса обработки, что присуще человеческому мышлению.

Таким образом, нами рассмотрена одна из возможных гипотез, основанная на предположении, что переработка информации человеческим мозгом осуществляется в непозиционной системе счисления в остаточных классах. Теоретические исследования показали, что предложенная информационная модель мозга хорошо согласуется с основными принципами, методами и алгоритмами переработки информации в СОК. При принятии данной гипотезы очевидна целесообразность создания систем ИИ на основе принципов, методов и алгоритмов переработки информации в МА.

Мозг человека в информационном плане представляет собой уникальную систему приема, выдачи и переработки информации. Данная система характеризуется множеством параметров и, в первую очередь, количеством хранимой информации, скоростью и надежностью ее переработки. В нашем случае попытаемся объяснить возможность одновременного хранения в мозгу человека большого объема информации, ее большую скорость переработки и сверхвысокую надежность памяти с точки зрения принципов, методов и алгоритмов обработки информации в МА, что может служить основой при создании НК.

Мозг характеризуется большим объемом одно-

временно хранимой информации. Конструктивная организация такого объема памяти в компьютере на современном этапе развития элементной базы представляет собой весьма сложный процесс. В этом плане одним из перспективных направлений является метод послойного наращивания трехмерных структур. Расчеты ученых показывают, что построенный таким образом куб памяти с объемом 10^{10} бит информации будет иметь приемлемую массу и габариты. Однако и здесь пока много нерешенных задач, одной из которых является низкая надежность функционирования такого куба памяти.

Для повышения надежности искусственной памяти можно делать запись данного объема $\{G\}$ информации параллельно в несколько ячеек памяти, распределяя ее по голографическому принципу. При такой организации памяти отказ одной или части ячеек памяти не будет влиять на нормальное функционирование информационной модели человеческого мозга, так как каждая единица исходной информации будет распределена по всей поверхности голограммы. Иными словами, в этом случае память является распределенной, т.е. имеется как бы пространственное наложение образов в памяти. В этом аспекте просматривается аналогия между биологической (человеческой) и голографической памятью.

Известно, что мозг человека за короткие промежутки времени обрабатывает огромные массивы информации. Однако нельзя утверждать, что мозг человека функционирует с большой скоростью. Скорей всего, высокая эффективность деятельности мозга достигается благодаря одновременной параллельной обработке большого количества информации, которая присуща мозгу, и вряд ли достижима в современных позиционных компьютерах, которые обрабатывают информацию последовательно, этап за этапом. Существующие методы повышения производительности компьютеров в ПСС не решают кардинально задачу организации высокопараллельной переработки информации. По современным

представлениям в человеческом мозгу информация воспринимается и перерабатывается по голографическому принципу посредством фреймов. Под фреймами будем понимать минимально неделимое количество информации, представленной в различных видах (визуальной, семантической и т.п.), которая однозначно определяет данный класс объектов. Фреймы играют роль оптимальных, стандартных подпрограмм, с помощью которых реализуются вычислительные алгоритмы, и позволяют сократить количество вспомогательных вычислений, что снижает непроизводительные расходы по быстродействию компьютеров. По всей видимости, в мозгу у каждого человека свой, индивидуальный набор фреймов, при этом возможно, что с течением времени структура фреймов в информационном плане может видоизменяться.

Отличительная особенность голографических запоминающих устройств – их большая емкость и сверхвысокая надежность. Это показывает, что при имитации деятельности мозга человека наиболее близким из известных технических принципов переработки информации является принцип голографического хранения информации, что и обуславливает возможную перспективность дальнейших исследований в этом направлении.

Одна из главных задач, возникающая при моделировании систем ИИ – обеспечение их высокой надежности, т.е. способности НК сохранять во времени в установленных пределах значение всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения. Исследование природы сверхнадежности функционирования человеческого мозга является одной из главных задач кибернетики в настоящее время.

Человеческий мозг, прошедший эволюцию на протяжении тысячелетий, достиг высокой степени совершенства как сверхэффективная информационно-управляющая система с высокой надежностью и

живучестью. Это проявляется в способности мозга нормально функционировать даже при отказах миллионов ПНС, являющимися элементами переработки информации в человеческом мозгу. Заметим, что определенный для технических систем термин "надежность" не всегда применим для живых организмов. Действительно, такие свойства надежности, как долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость вряд ли могут быть использованы при характеристике мозга. Это говорит о том, что надежность мозга имеет совершенно иную природу, отличающуюся от принципов и средств обеспечения надежности, живучести и отказоустойчивости технических средств переработки информации, в частности, использующихся в современных компьютерах.

Необходимость в объяснении отдельных свойств живых организмов для использования принципов их существования и функционирования в разрабатываемых технических системах заставляет исследователей хотя бы ориентировочно определить, пользуясь известными техническими понятиями и определениями, методы обеспечения надежности, использующиеся в человеческом мозгу. Одним из таких методов, возможно, является метод применения одновременно различных видов резервирования (структурного, информационного и т.д.) как на уровне ПНС, так и на уровне отдельных групп ПНС.

Данный метод широко используется в технических системах переработки информации для повышения надежности ее обработки. Этот метод наиболее эффективен при постоянном поэлементном резервировании ПНС и при динамическом резервировании отдельных групп ПНС. Вероятнее всего в человеческом мозгу присутствуют одновременно все известные методы резервирования.

В технических системах не всегда возможна реализация одновременно всех видов резервирования на всех уровнях. Это объясняется, во-первых, трудностью физической реализации таких резервируемых систем и большими техническими затратами на

эту реализацию. Второе, что может объяснить высокую степень надежности человеческого мозга, – это голографические принципы переработки информации. Процесс получения голограммы математическими методами представляется как прямое преобразование Фурье, а процесс восстановления изображения по данной голограмме – как соответствующее обратное преобразование.

Пусть информационно-управляющая система реализует алгоритм управления в соответствии с заданной функцией $f(t)$. При этом недопустима потеря информации на любом сколь угодно малом отрезке времени Δt ее существования. С точки зрения обеспечения высокой надежности обработки функции $f(t)$ более целесообразно иметь дело не с самой функцией $f(t)$, а с ее спектром, так как каждая линия этого спектра несет информацию обо всей функции $f(t)$ (как и осколок пластины голограммы) на периоде ее изменения T . Если по какой-то причине происходит искажение спектра функции $f(t)$, то при ее восстановлении не происходит потери информации полностью, а просто информация об объекте G (предмете, процессе или явлении) принимается менее точно. Это в полной мере относится и к фреймам. Действительно, четкость отображения информационного объекта в памяти человека зависит от количества признаков, описывающих данный объект G .

Приведенные рассуждения показывают, что внешне процесс функционирования человеческого мозга хорошо согласуется с голографическими принципами переработки информации. Таким образом, при построении информационных систем переработки информации необходимо первоначально, уже в самой системе счисления ввести (или использовать, как в СОК, имеющиеся) голографические признаки, способствующие организации параллельной и надежной обработки информации.

Ранее в статье отмечалось, что при обработке информации в МА существует возможность обмен-

ных операций между точностью вычисления алгоритма, надежностью и быстродействием в динамике вычислительного процесса, т.е. в реальном времени. Пусть объект G , выраженный числовым кодом, опеределается набором оснований $\{m_i\}$ СОК; $i = \overline{1, n+k}$ (описывается набором $\{a_i\}$ остатков). Время выполнения арифметических операций и точность решения зависит от количества информационных оснований n , а надежность (достоверность) вычислений зависит от количества контрольных оснований k . Пусть в процессе вычислений возникла необходимость повысить надежность вычислений. В этом случае, в реальном времени происходит перераспределение оснований СОК $i = \overline{1, n'+k'}$, при этом $n' < n$, а $k' > k$ и $n+k = n'+k' = const$. В данном случае уменьшается точность вычислений и повышается быстродействие выполнения арифметических операций, которые определяются количеством информационных оснований n' .

Если возникла необходимость на отдельном участке вычисляемой программы увеличить точность решения, то перераспределение программы происходит следующим образом: $i = \overline{1, n''+k''}$ ($n+k = n''+k'' = const$). В этом случае при повышении точности вычислений ($n'' > n$) уменьшается их надежность (достоверность вычислений) и быстродействие (пользовательская производительность) ($k'' < k$) решения данной задачи.

Рассмотрим более подробно важное свойство МА, заключающееся в возможности изменять соотношение между числом информационных и контрольных оснований в процессе решения задачи и при этом гибко использовать резервы точности и надежности. Известен метод переменного масштабирования, позволяющий сокращать количество разрядов при представлении числовой информации в ПСС. За счет этого удается ввести дополнительные разряды для организации аппаратного оперативного контроля при наличии ограничений на увеличение веса, габаритов и стоимости компьютеров.

При этом можно маневрировать точностью, скоростью и надежностью вычислений. Однако специфика ПСС накладывает следующие ограничения на метод переменного масштабирования:

- перед каждым тактом выполнения программы необходимо производить дополнительные операции сдвига, снижающие на $\approx 10\%$ реальное быстродействие компьютера;

- использование перед составлением программы переменного масштабирования предполагает выполнение большого объема теоретических работ по определению рациональных масштабных коэффициентов; масштабирование имеет смысл применять только для определенного класса задач; данный метод вряд ли целесообразен для компьютеров, функционирующих в реальном времени. Совершенно иные результаты можно получить в МА. Время, необходимое для выполнения немодульных операции в МА, пропорционально числу информационных оснований, т.е. числу оснований, определяющих точность вычислений. Переходя к вычислениям с меньшей точностью, можно повысить быстродействие НК в МА. Если упорядоченная СОК расширяется путем добавления l оснований, каждое из которых больше предыдущего основания исходной СОК, то минимальное кодовое расстояние d_{min} автоматически увеличивается на величину l . Этого же можно добиться, уменьшая число информационных оснований, т.е. переходя к вычислениям с меньшей точностью. Следовательно, между корректирующими возможностями кодов в МА и точностью вычислений существует обратно пропорциональная зависимость. Один НК в МА может выполнять одни и те же вычисления с высокой точностью, но с меньшим значением надежности, а другие – с меньшей точностью, но с более высоким значением надежности и быстродействия.

Таким образом, НК в МА обладает свойством адаптации к определенному классу решаемых задач и алгоритмов (типу реализуемых операций) в зависимости от требований, предъявляемых к точности,

быстродействию и надежности вычислений. К такому классу задач относятся в первую очередь такие:

- обработка информации при решении задач цифровой фильтрации;
- вычисление цифровых свертки, БПФ, ДПФ и пр;
- криптографические преобразования в полях Галуа, при разработке криптографических систем на основе использования преобразований Хартли;
- задачи модульных преобразований;

– задачи, реализуемые матричными и векторными процессорами;

- реализация арифметических модульных операций в системах цифровой обработки информации.

На рис. 2 и 3 схематично изображена качественная зависимость характеристик НК МА от соотношения между числом информационных и контрольных оснований СОК.

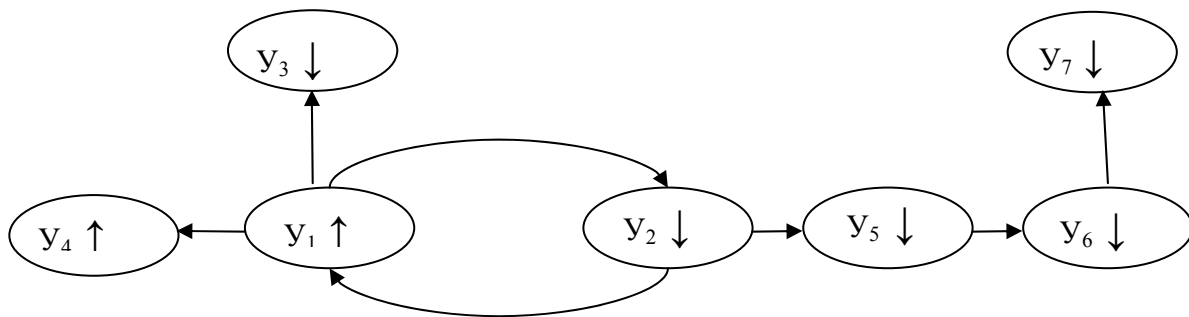


Рис. 2. Зависимость основных характеристик НК в МА ($y_1 + y_2 = const$) при увеличении количества y_1 информационных оснований

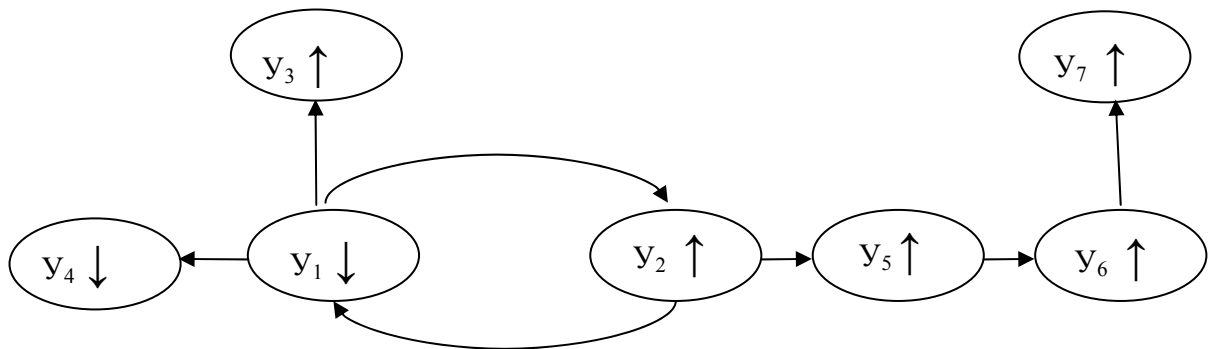


Рис. 3. Зависимость основных характеристик НК в МА ($y_1 + y_2 = const$) при уменьшении количества y_1 информационных оснований

На рис. 2 показана зависимость основных характеристик НК в МА ($y_1 + y_2 = const$) при увеличении количества y_1 информационных оснований, а на рис. 3 показана зависимость основных характеристик НК в МА при уменьшении количества y_1 информационных оснований, где: y_1 – количество информационных оснований n ; y_2 – количество контрольных оснований k ; y_3 – пользовательская производительность НК; y_4 – точность вычислений НК; y_5 – кор-

ректирующая способность кода МА; y_6 – достоверность вычислений НК; y_7 – надежность функционирования НК.

Отметим, что методы организации обменных операций в ПСС (например, переменное масштабирование и т.д.) не обладают той гибкостью и универсальностью, как методы, обеспечивающие обменные операции в МА. Это дает возможность более гибко и избирательно подходить к решению

различного типа задач, что присуще человеческому мозгу. Кроме этого, при построении и исследовании приведенных надежностных моделей устройств переработки информации в МА установлено, что при применении кодов в классе вычетов одновременно, как и мозгу человека, присутствуют различные виды резервирования: структурное, информационное, функциональное, нагрузочное и временное.

Действительно, структурное резервирование проявляется при построении вычислительной системы на основе набора независимых и работающих параллельно во времени вычислительных трактов по соответствующим основаниям m_i . В этом случае данные вычислительные тракты ($i = \overline{1, n}$) играют роль основных элементов резерва, а тракты по основаниям $m_j = (j = \overline{n+1, n+k})$ – роль резервных элементов. Кроме этого в упорядоченной ($m_i < m_{i+1}$) СОК основания $m_j (j = \overline{n+1, k})$ играют роль контрольных трактов, информация которых дает возможность организовать процесс обнаружения и исправления ошибок. В этом аспекте проявляется также информационное резервирование. Кроме этого было показано, что при соблюдении условия $m_j \geq \prod_{i=1}^r m_{k_i}$ проявляется роль функционального резервирования, т.е. возможность одного контрольного тракта взять на себя функции до r отказавших информационных вычислительных трактов. Очевидно, что при построении информационно-управляющих систем на принципах переработки информации в МА достигается высокая надежность и живучесть этих систем, приближая их в этом аспекте к деятельности человеческого мозга.

Хорошо согласуется модель информационного объекта в СОК с современным понятием фрейма. Пусть фрейм, описывающий объект G , представлен в МА. При этом точность описания (представления) объекта G зависит от количества и величин оснований СОК. Чем больше количество n оснований и

чем больше они по величине m_i , тем точнее описывается посредством фреймов информационный объект.

Понятийным аппаратом при синтезе моделей НК в МА, в первую очередь, может быть:

- теория продуктивных систем Е. Поста;
- теория фреймов М. Минского;
- теория семантических сетей и сценариев Р. Шенка;
- теория нечетких множеств Л. Заде.

Выводы

Результаты проведенных в статье исследований показали, что, основным признаком функционирования нейрокомпьютеров является голографический принцип обработки информации. В статье показано, что для нейрокомпьютеров данный принцип может быть применим, например, путем использования МА. При этом в данной непозиционной системе счисления присутствует голографический признак – непозиционность представления и обработки информации кодовых слов. В свою очередь, методы и алгоритмы обработки информации, основанные на голографическом принципе, позволяют существенно повысить отказоустойчивость (надежность) функционирования и производительность вычислений НК. Это во-первых.

Во-вторых, между НС и представлением кодовых слов в МА существует связь. Так, если количество синапсов в НС согласовано с количеством оснований МА, то НС просто может быть представлена посредством упорядоченной СОК.

В-третьих, предпосылкой к созданию НК в МА является также, совпадение математической модели функционирования ИНС (в частности, персептрона) и модели реализации математической операции перемножения с суммированием результатов вычислений.

Литература

1. Барсов В.И., Московченко И.В. Повышение эффективности цифровой обработки сигналов в сис-

теме остаточных классов // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1999. – Вып. 1(15). – С. 128-131.

2. Барсов В.И., Стасев Ю.В., Московченко И.В. Показатель эффективности системы управления. Збірник наукових праць. – Х.: ХВУ, 2001. – Вып. 4 (34). – С. 114-115.

3. Барсов В.И., Стрелкова Т.А., Жилин Е.И., Калмыков А.С. Анализ электромагнитной обстановки на техногенных объектах сложной пространственной структуры // Системы обработки информации. – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вып. 8(57). – С. 93-95.

4. Федунев Б.Е., Романова В.Д., Юневич Н.Д. Бортовые оперативно-советующие экспертные системы на борту антропоцентрических человеко-машинных объектов // Интеллектуальные системы. – 1996. – Т. 1, № 1. – С. 145-157.

5. Амосов Н.М., Байдык Т.Н., Гольцева Д. Нейрокомпьютеры и интеллектуальные роботы. – К.: Наук. думка, 1991. – 272 с.

6. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А. Сергеев. – Х.: Основа, 1997. – 112 с.

7. Бабынин Н.М., Жихарев В.Я., Илюшко В.М. и др. Применение методов искусственного интеллекта в управлении проектами / Под ред. А.Ю. Соколова. – Х.: ХАИ, 2002. – 474 с.

8. Барсов В.И., Стрелков А.И., Рябкин Ю.В. Потенциальные возможности оценки параметров радиосигналов в задачах оценки электромагнитной обстановки // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2004. – Вып. 7. – С. 208-215.

9. Шалютин С.М. Искусственный интеллект. – М.: Мысль, 1985. – 199 с.

10. Искусственный интеллект: Справочник. В 3 кн. / Под ред. Д.А. Пospelова. – М.: Радио и связь, 1990. – Кн. Модели и методы. – 304 с.

11. Нильсон Н. Проблемы искусственного интеллекта. – М.: Радио и связь, 1985. – 280 с.

12. Рабинович З.Л. Некоторый бионический подход к структурному моделированию целенаправленного мышления // Кибернетика. – 1979. – № 2. – С. 115-118.

13. Лурия А.Р. Восстановление функций мозга после военной травмы / Под ред. Е.Д. Хомской // Нейропсихология. – М., 1984. – 192 с.

14. Бехтерева Н.П. О гибких и жестких звеньях мозговых систем обеспечения психической деятельности / Под ред. Е.Д. Хомской // Нейропсихология. – М., 1984. – 192 с.

15. Краснобаев В.А. Искусственный интеллект и система счисления в остаточных классах // Проблемы бионики. – 1987. – Вып. 39. – С. 53-58.

16. Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. – М.: Сов. радио, 1968. – 444 с.

17. Пухов Г.Е., Евдокимов В.Ф., Синьков М.В. Разрядно-аналоговые вычислительные системы. – М.: Сов. радио, 1978. – 256 с.

18. Модулярные параллельные вычислительные структуры нейропроцессорных систем / Н.И. Червяков, П.А. Сахнюк, А.В. Шапошников, С.А. Ряднов; Под ред. Н.И. Червякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 288 с.

19. Нейрокомпьютеры в остаточных классах. Кн. 11: Учеб. пособие для вузов / И.И. Червяков, П.А. Сахнюк, А.В. Шапошников, А.Н. Макоха. – М.: Радиотехника, 2003. – 272 с.

20. Краснобаев В.А., Илюшко Я.В. Построение систем искусственного интеллекта на основе использования непозиционного кодирования информации // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ», 2004. – Вып. 24. – С. 286-298.

Поступила в редакцию 26.01.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков.