

# ДОКУМЕНТАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.032.26:[004.658:519.23]

В. М. Ефременкова, Э. Г. Захарова, Н. В. Круковская, Ю. Г. Сметанин

## История, состояние и прогноз работ по нейросетевым исследованиям на основе статистического анализа баз данных INSPEC, SCI, ВИНИТИ и CAS\*

*В последние годы происходило взрывное нарастание исследовательской активности в области нейронных сетей и нейрокомпьютеров. Оно характеризовалось экспоненциальным, с периодом удвоения 1–2 года, ростом числа публикаций, научных конференций и новых журналов, а также частоты встречаемости в библиографических базах данных ключевых слов типа “нейронные сети”, “нейрокомпьютеры” и цитирований основных авторов этого направления. В настоящей статье предпринята попытка классификации этих публикаций с целью выявления тенденций развития в данной области.*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Область исследований, получившая к настоящему времени устойчивое название “нейросетевые исследования” (neural network research), сформировалась в последние два десятилетия [1, 2]. Идея создания нейронных сетей явилась результатом стремления воспроизвести в искусственных вычислительных системах способность биологических нервных систем к эффективной обработке информации, поступающей из внешнего мира, особенно при решении таких задач, как распознавание зрительных и звуковых образов, зрительная ориентировка в пространстве, управление сложной двигательной активностью. Как известно, мозг человека намного превосходит все самые современные супер-ЭВМ по способности решать задачи такого типа. Целью первых искусственных нейронных сетей было моделирование низкоуровневой структуры мозга и воспроизведение способности биологических нейронных сетей обучаться и исправлять ошибки. Целью наиболее амбициозных проектов в области нейросетевых моделей и нейросетевых ЭВМ являлось создание мощных интеллектуальных вычислительных систем, которые по своим информационным возможностям приближались бы к человеческому мозгу. По мере развития работ становилось все более понятно, что воспроизведение структуры мозга является неразрешимой задачей на данном уровне развития науки и вычислительной техники, однако одновременно прояснились те области применения, в которых нейронные сети особенно эффективны.

Основные цели исследований в области искусственных нейронных сетей, связаны с:

а) надеждой на создание эффективных средств для имитационного моделирования отдельных

функций человеческого мозга; эти средства полезны как для изучения работы мозга, так и для создания интеллектуальных систем;

б) попыткой реализации отдельных возможностей ассоциативного мышления в прикладных системах распознавания образов, управления, решения сложных задач оптимизации и т. д.;

в) исследованием предельного случая массового параллелизма при очень большом числе очень простых процессоров, когда программирование всех процессоров становится громоздкой задачей и целесообразно найти средства “самопрограммирования”.

Преимущества нейронных сетей перед экспертными системами проявляются в тех задачах, где трудно выделять правила и велика размерность объектов, зато можно выбирать много обучающих примеров. Недостатком современных нейронных сетей по сравнению с экспертными системами является отсутствие явных правил и объяснения причин принятого решения.

Характерные свойства нейросетевых моделей;

а) коллективный режим вычисления, благодаря чему эти модели удобно реализовывать на параллельных процессорах;

б) очень высокая робастность относительно отказов элементов и шумовых помех;

в) обучение вместо традиционного программирования, что дает возможность использовать режим постоянного обучения при работе в изменяющихся средах.

Основные теоретические исследования в области нейронных сетей в настоящее время:

а) разработка новых нейросетевых моделей;

б) аппаратная реализация нейронных сетей;

в) практические применения в распознавании образов, комбинаторной оптимизации, управлении

\* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, гранты 00-03-40142И и 01-01-00052.

в режиме реального времени, биологических исследованиях.

Работы в этой области являются комплексными и сочетают математические, физические и биологические методы.

С 1982 по 1988 гг. происходило взрывное нарастание исследовательской активности в данной области. Оно характеризовалось экспоненциальным, с периодом удвоения 1–2 года, ростом числа публикаций, научных конференций и новых журналов, а также частоты встречаемости в библиографических базах данных ключевых слов типа “нейронные сети”, “нейрокомпьютеры” и цитирований основных авторов этого направления в БД Science Citation Index (SCI) [3, 4].

## 2. ИСТОРИЯ ОСНОВНЫХ ИДЕЙ И ПОНЯТИЙ, ОТНОСЯЩИХСЯ К НЕЙРОННЫМ СЕТЯМ

В основе нейросетевого подхода лежит идея динамической сети связанных между собой и влияющих друг на друга элементов. Каждый элемент является автоматом, состояние которого определяется состояниями остальных элементов в сети, и в свою очередь передающим информацию о своем новом состоянии остальным элементам. Оказывается, что даже сети из относительно простых элементов, взаимодействующих по простым правилам, могут обладать очень сложным и разнообразным поведением. Это позволяет использовать нейросетевые модели для описания таких сложных биологических процессов, как когнитивная деятельность мозга, работа генетического аппарата клетки, функционирование иммунной системы и др.

Исторически первое исследование математических свойств сетевых моделей, использующих понятие формального нейрона, было предпринято в 1943 г. [5]. В 1949 г. была выдвинута гипотеза о механизме формирования межнейронных связей, согласно которой в процессе обучения усиливаются связи между нейронами, одновременно находящимися в возбужденном состоянии [6]. В 1965 г. была предложена модель искусственной нейронной сети, названной персептроном, которая обладала способностью обучаться распознаванию простых образов [7, 8]. Однако бурное развитие исследований в области искусственных нейронных сетей началось с 1982 г. после выхода работы физика Дж. Хопфилда, в которой для описания поведения простых нейронных сетей с симметричными связями была использована теория динамических систем А. Пуанкаре (по [1]).

В основу модели Хопфилда легла математическая аналогия между поведением простых нейронных сетей с симметричными связями и поведением материалов с необычными магнитными свойствами — спиновых стекол. Коллективное поведение спинов атомов в таких материалах подобно поведению атомов в структурно неупорядоченных веществах типа стекол. Произвольные конфигурации спинов в “спиновом стекле” являются устойчивыми, т. е. материал как бы хранит в памяти определенное количество пространственных образов. Если в “спиновом стекле” создать другое начальное распределение спинов, то происходит процесс релаксации во времени — переход к одному из устойчивых конфигураций спинов, соответствующих минимуму энергии. Можно сказать,

что “спиновое стекло” обладает способностью к запоминанию, распознаванию образов и ассоциативному воспроизведению. Такая память является распределенной и малочувствительной к дефектам, причем возможно “узнавание” зашумленных, нечетких образов. Таким образом оказалось, что состояние отдельного нейрона (возбуждение или торможение) является аналогом значения спина (прямой или инвертированной его ориентации), причем магнитные взаимодействия в “спиновом стекле” соответствуют взаимодействиям между нейронами, определяемыми синаптическими связями между нейронами в сети. Сеть Дж. Хопфилда — это формальная вычислительная схема, структура и функционирование которой в некоторой степени подобны структуре и функционированию нервной системы; поэтому для описания ее работы можно использовать термины когнитивной деятельности мозга и других регуляторных систем живого организма [9]. Нейронная сеть Хопфилда, обученная на примерах, исправляет полученные на входе искаженные образы, т. е. работает как ассоциативная память. Способность нейронной сети к поиску ассоциативных связей между изучаемыми явлениями оказалась очень полезной в решении сложных задач комбинаторной оптимизации, связанных с перебором очень большого числа вариантов. В этих случаях сеть Хопфилда отвергает заведомо плохие решения и может находить решение, близкое к оптимальному, т. е. воспроизводит стиль решения задач, свойственный человеку.

Поскольку нейронная сеть Хопфилда имеет “физическое” происхождение, вполне естественно, что дальнейшее развитие модели было связано с использованием моделей более сложных физических процессов, в частности, фазовых переходов [10].

В нейронной сети Хопфилда каждый нейрон взаимодействует со всеми остальными нейронами (т. е. сеть является однослойной), и этот процесс происходит в рекуррентном режиме. В задачах, где от системы требуется высокое быстродействие, это оказывается неудобным. Поэтому в таких задачах применяются иерархические (многослойные) нейронные сети, работающие в нерекуррентном режиме. Развитие многослойных нейронных сетей началось приблизительно в то же время, что и развитие однослойных. Принципиальным шагом здесь стало создание алгоритма обучения на основе обратного распространения ошибок. В этом методе для обучения нейронной сети используется набор пар “вход-выход”, и параметры сети изменяются таким образом, чтобы при предъявлении каждого входа из некоторой пары истинный выход нейронной сети приближался к выходу из этой пары.

С точки зрения общей теории систем, многослойные нейронные сети являются системами с обратной связью, а однослойные нейронные сети — системами без обратной связи.

Системы обоих классов могут работать как в дискретном, так и непрерывном режиме; значения состояний нейронов и весов связей между ними также могут быть и дискретными, и непрерывными. Обновление значений параметров элементов может производиться в режиме с синхронизацией и в режиме без нее.

Обучение нейронных сетей производится либо с учителем, либо без учителя. В первом случае нейронной сети предъявляются обучающие образцы,

о которых известно, какому классу они принадлежат. Обученная сеть классифицирует входные образцы по аналогии с обучающими. К этому классу относятся как метод обучения нейронной сети Хопфилда (так называемый метод внешних произведений, являющийся по существу формальной записью правил обучения Хебба), так и метод обратного распространения.

Во втором случае нейронная сеть самостоятельно разбивает поступающие на вход образцы на классы на основе их сходства между собой, т. е. реализует кластеризацию входов. Первой моделью такого вида стала самоорганизующаяся карта Т. Кохонена [2], обучающаяся с помощью правил Хебба. Правила Хебба в этом случае реализуют соревнование между нейронами, в ходе которого определяется лучшее разбиение входных образцов на классы. Объединение самоорганизации с методом обратного распространения в многослойных сетях привело к появлению метода встречного распространения [11], обладающего очень высоким уровнем робастности относительно шумовых искажений. Еще одним вариантом самоорганизации является метод адаптивного резонанса.

Все рассмотренные выше модели являются детерминированными. Альтернативным вариантом являются стохастические нейронные сети, в которых действия нейронов зависят также и от случайных параметров. Это дает возможность пробовать

альтернативные варианты поиска решений в тех случаях, когда найденное решение оказалось неудовлетворительным. Первой и наиболее известной моделью такого рода является машина Больцмана. Обычно машину Больцмана реализуют на основе нейронной сети Хопфилда [9]. Фактически все стохастические модели нейронных сетей реализуют метод имитации отжига [13]. Объединение стохастического обучения с самоорганизацией привело к появлению метода стохастического соревнования [14].

При реализации методов постоянного обучения в задачах анализа информации об изменяющемся внешнем мире для предотвращения переполнения памяти требуются процедуры забывания; исторически первые такие процедуры предложены в [9, 15].

Интерес мирового научного сообщества к идеям, сформулированным в первых работах по нейронным сетям, как показывают данные по цитированию в БД SCI основоположников этого направления Дж. Хопфилда и Т. Кохонена, достаточно стабилен (рис. 1а, б).

Одновременно с разработкой и исследованием нейросетевых моделей ведутся работы по созданию средств их аппаратной реализации — нейромикропроцессоров, т. е. аналоговых или цифровых ЭВМ, основной операционный блок которых построен на основе нейронной сети и реализует нейросетевые алгоритмы [16].

### 3. БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ ПО НЕЙРОННЫМ СЕТЯМ И НЕЙРОУСТРОЙСТВАМ

Идея нейронных сетей родилась в ходе исследований в области искусственного интеллекта. Анализ динамики распределения потоков публикаций в рубриках “Искусственный интеллект” БД ВИНТИ (Россия) — 28.23 и БД INSPEC (Великобритания) — C1230 выявил экспоненциальный рост публикаций с 1979 г. по 1988 г. (рис. 2). Используя дескрипторный словарь БД INSPEC можно оценить вклад отдельных направлений в рассматриваемую область исследований в этот период времени (рис. 3). Основным направлением работ были экспертные системы — 28,6%. Такие системы основывались на высокоуровневом моделировании процесса мышления. Но вскоре стало ясно, что они, успешно работая в некоторых областях, не охватывают ключевые аспекты работы мозга человека, поскольку не в состоянии воспроизвести его структуру. На рис. 3 уже к 1988 г. наблюдается довольно значительный спад числа публикаций. Чтобы создать искусственный интеллект, необходимо построить систему с похожей архитектурой. Такой системой оказались нейронные сети, доля публикаций по которым в массиве документов по искусственному интеллекту с 1982 г. по 1988 г. составила 14,9%, а их количество в этот же период времени возросло в 36 раз.

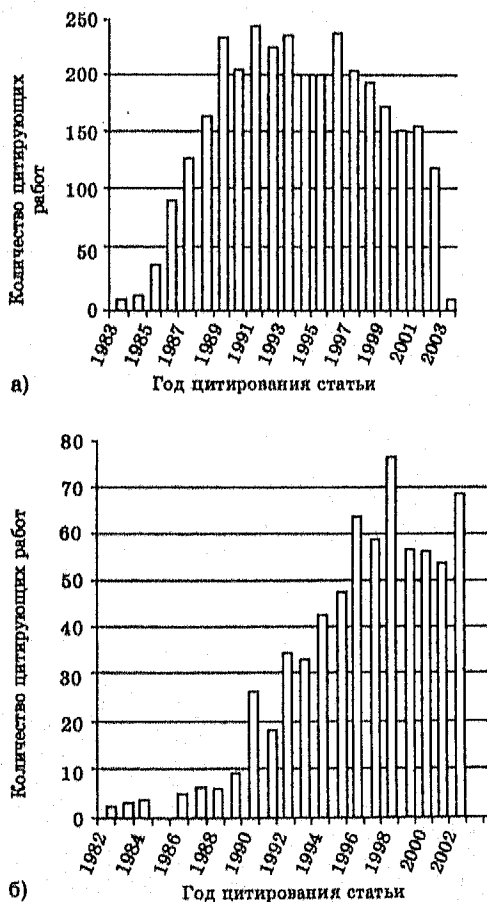


Рис. 1. Временное распределение цитирования первых публикаций по нейронным сетям: а) J. Hopfield, опубликованной в 1982 г. в журнале Proc. Nat. Acad. Sci. [1]; б) Т. Кохонен, опубликованной в 1982 г. в журнале Biol. Cybern. [2].

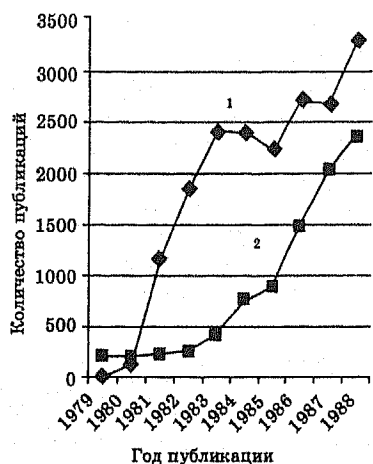


Рис. 2. Динамика распределения суммарного потока публикаций по годам в области искусственного интеллекта в рубриках: 282.23 Рубрикатора выпуска БД ВИНТИ "Техническая кибернетика" — 1 и С1230 Классификатора БД INSPEC-2.

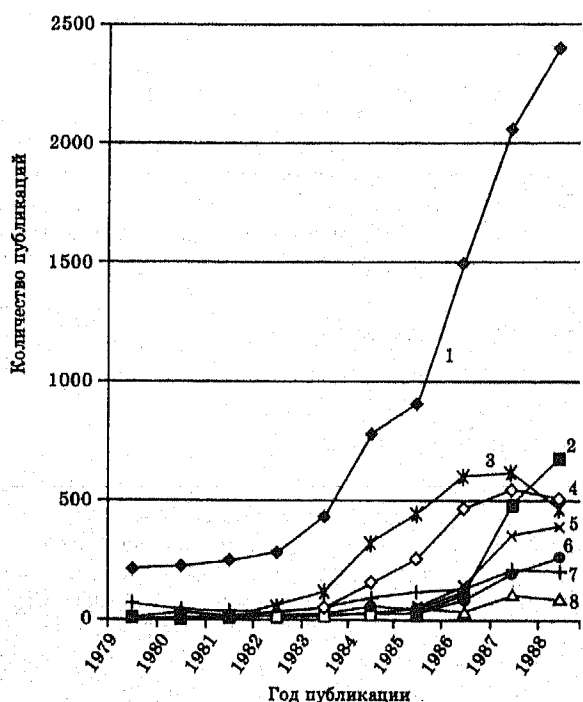


Рис. 3. Динамика распределения суммарного потока документов по годам публикации в БД INSPEC С в рубрике С1230 "Искусственный интеллект" — 1 по отдельным тематическим направлениям исследований: нейронные сети — 2; экспертные системы — 3; системы организации знания — 4; обучающие системы — 5; распознавание образов — 6; интеллектуальные роботы — 7; системы компьютерного зрения — 8.

### 3.1. Информационные ресурсы, используемые для мониторинга исследований по "нейронным сетям"

Основные методы решения этой проблемы связаны с использованием вторичной информации, накопленной в базах данных (БД) INSPEC — Великобритания, БД Chemical Abstracts (СА) — США, БД Science Citation Index (SCI) — США и БД

ВИНИТИ — Россия. Анализ документальных информационных потоков во всех БД был проведен с 1982 г. (времени опубликования первой работы по нейронным сетям) и по настоящее время. Документ в БД является описанием на естественном языке идей, фактов, событий и результатов исследований и представлен как: набор полей-атрибутов, в которых сосредоточены библиография первоисточника (название, авторы, источник публикации, тип документа, год издания и т. д.); поле дескрипторов, определяющих наиболее характерные понятия документа (а в БД СА — это поле контролируемой лексики); поле ключевых слов, являющихся некоторым подмножеством терминов контролируемого словаря БД; полем свободных терминов, присутствующих в документе; полем кода классификатора БД.

Методы поиска в каждой БД определялись возможностями поиска по определенным полям и их сочетаниям.

Анализ лексики слов и словосочетаний в режиме "Словарь" и в выдаче по запросам позволил отработать поисковые предписания в каждой из БД для получения наиболее полной и точной информации, адекватной состоянию "нейросетевых исследований" в настоящее время.

Информационная потребность пользователя может быть удовлетворена при поиске в БД по различным поисковым предписаниям в различные временные интервалы формирования БД. Так, в период 1982–1995 гг. в БД INSPEC, ключевыми словами [17], описывающими массив документов по "нейроисследованиям", были: *neural nets, neuristor networks, neurocontrollers, neural chips, arithmetic computers*;

— модели нейронных сетей: *neuron models, neurophysiology (brain, neural nets), backpropagation, Boltzmann machines, brain models, perceptrons, cerebellar model, Hebbian learning, unsupervised learning, self-organising feature maps*;

— виды нейронных сетей: *art neural nets, optical neural nets, fuzzy neural nets, cellular neural nets, feedforward neural nets, recurrent neural nets*;

— архитектура нейронных сетей: *neural nets architecture*.

Таким образом, поисковое предписание по "нейроисследованиям", составленное с учетом вышеприведенных ключевых слов, по которому может быть обеспечена релевантная выдача документов, состоит из двух фрагментов, соответствующих описанию "нейроустройств" и их моделей:

I — *neural adj (net? or chip?) or neuristor? adj network? or neurocontroller?, or neurocomput? or arithmetic adj computer?\**

II — *neuron adj model? or (neurophysiology and brain and neural nets) or backpropagation or Boltzmann adj machine\$, brain adj model? or perceptron? or cerebellar adj model? or Hebbian adj learning or unsupervised adj learning or selforganising adj (feature or map?)*.

Из приведенных поисковых предписаний видно, насколько неопределенна терминология даже на уровне ключевых слов, особенно при характеристике моделей нейронных сетей. Полный массив может быть при необходимости получен сочетанием обоих поисковых предписаний. В 1991 г. было введено

\*? и \$ — знаки усечения окончаний терминов в БД системы STN и ВИНТИ соответственно.

в классификатор несколько разделов, упорядочивших терминологию и узко-тематическое распределение публикаций по рассматриваемой тематике.

При поиске информации в политематической БД SCI можно использовать вышеприведенные поисковые предписания.

В БД СА возможен поиск по свободным терминам и по контролируемым. Поисковое предписание при поиске по свободным терминам имеет вид:

I — *neural (w) (net? or chip?) or neurocomput?*

Так как БД СА включает материалы по биохимии (см. раздел "Биохимия"), то из поискового предписания необходимо исключить признаки публикаций, относящихся к нейрофизиологии, а именно "нервные сети" и компьютерные аспекты моделирования чисто биологических процессов, для описания которых употребляются термин "нейронные сети", являющийся в этом случае синонимом термина "нервные сети", или процессов типа моделирования структуры лекарственных препаратов и др. Доля нейросетевых публикаций, связанных с нейрофизиологией, нейробиологией, нейрофармакологией, составляет около 10%. Поэтому для повышения точности поиска необходима корректировка поискового предписания, а именно:

II — I not (*nerv? or computer (application or aspects)*).

Контролируемыми терминами являются:

*simulation modeling, physicochemical, neural network* (имитационное моделирование, физико-химический, нейронная сеть),

*simulation modeling, biological, neural network, artificial neural network* (имитационное моделирование, биологический, нейронная сеть, искусственная нейронная сеть).

Поиск информации в политематической БД ВИНТИ проводится по свободной лексике. При этом необходимо учитывать наличие блока фрагментов БД по "наукам о живом": "Биология", "Генетика", "Физико-химическая биология", "Медицина", "Лекарственные растения". Поисковое предписание в этом случае с учетом не устоявшейся до сих пор лексики и богатства словоформ русского языка имеет следующий вид:

нейронн\$ adj (сет\$ or чип\$) or нейросет\$ or нейронносет\$ or нейронно-сет\$ or нейрокомпью\$ or нейрочип\$ or нейро-чип\$ or нейронечетк\$ or нейрочетк\$ or нейроконтролл\$ or нейровычислен\$ or нейроалгоритм\$ or нейромоделир\$ or нейроинформат\$ or нейрокибернетик\$ or neural adj (net\$ or chip\$) or neurocomput\$ or neurocontroller\$ not (нервн\$ or сет\$ adj нейрон\$).

По приведенному выше поисковому предписанию можно проводить поиск по любому из 28 фрагментов БД ВИНТИ, но отрицание (not) необходимо лишь в БД по наукам о живом. В технических фрагментах БД ВИНТИ в поисковом предписании можно ограничиться следующими терминами:

нейронн\$ adj (сет\$ or чип\$) or нейросет\$ or нейронносет\$ or нейронно-сет\$ or нейрокомпью\$ or нейропроконтроллер\$ or нейрочип\$ or нейро-чип\$

С 1982 по 2000 гг. суммарный поток оценить достаточно сложно из-за дублирования документов в различных фрагментах БД, анализ можно проводить лишь по каждому фрагменту. Наибольшее количество публикаций (около 49,1%) представлено во фрагменте БД ВИНТИ "Автоматика и радиоэлектроника", из которых в выпуске этого фрагмента "Техническая кибернетика" сосредоточено

около 54,7%, и во фрагменте "Программное обеспечение" — около 20%.

### 3.2. Динамика распределения потока публикаций по годам опубликования

Наиболее полные массивы публикаций по нейроисследованиям в период с 1982–2001 гг. могут быть получены при поиске по свободным терминам во всех четырех рассматриваемых БД. Анализ временной динамики публикаций показывает, что после периода экспоненциального роста в 1982–1995 гг. наступил период стабилизации и даже некоторого спада количества публикаций, отмечаемого пока только в БД INSPEC (рис. 4).

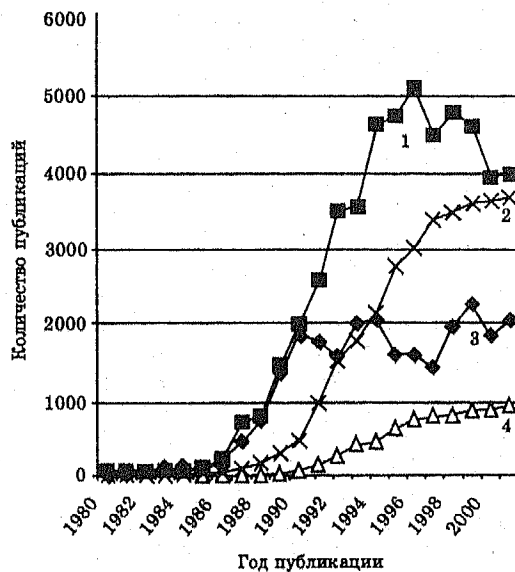


Рис. 4. Динамика распределения суммарного потока документов по годам публикации нейроисследованиям в БД: 1 — INSPEC-C, 2 — SCI, 3 — ВИНТИ и 4 — СА.

Возможности поиска в системе STN International Московского информационного центра РАН STN [18] позволяют получить количественные данные по суммарному массиву публикаций, отраженных в трех зарубежных БД. Возможно и получение данных по количеству дублируемых публикаций во всех БД и по количеству оригинальных публикаций в каждой из БД. Суммарный массив по "нейронным сетям" в БД 2001 г. представлен 9275 публикациями, из которых 2495 дублируются. Суммарное количество работ в каждой из БД в массиве 2001 г. составляет: 5051 публикация в БД INSPEC; 3685 публикаций в БД SCI; 537 публикаций в БД СА.

БД ВИНТИ не представлена в международных поисковых системах, поэтому такую статистику получить невозможно.

Как видно из рис. 4 и данных по суммарному количеству публикаций, самый полный массив статей из журналов, трудов конференций, книг имеется в политематической БД INSPEC, где наиболее полно представлены материалы по физике, математике, включая вычислительную технику, электронике и электротехнике. Но патентная информация представлена только в двух из четырех выбранных

для анализа БД — ВИНТИ и CAS. Наличие меньшего массива публикаций в политематической, но все же *химической* БД Chemical Abstracts связано с отражением публикаций по нейронным сетям, применяемым преимущественно для обработки экспериментальных данных. И первые публикации здесь появились лишь в 1986 г., когда нейросетевые исследования начали использоваться для работ прикладного характера.

### 3.3. Развитие классификационных схем по “нейросетевым” исследованиям

Без упорядочения публикаций по развивающимся научным направлениям в БД и печатных изданиях с помощью классификационных кодов невозможно слежение за работами, проводимыми учеными и научными коллективами различных стран. Но введение новых кодов в классификатор отстает от “жизни науки” на несколько лет. Так, в классификатор БД INSPEC лишь в 1992 г. в рубрику C1230 “Искусственный интеллект” была введена подрубрика C1230D — “Нейронные сети”, в которой в основном отражались теоретические аспекты публикаций. Кроме того, для компоновки материала по элементной базе нейроустройств стали использовать коды: C5190 “Элементная база нейронных сетей”, C5290 “Устройства для нейронных сетей и нейрокомпьютеров”, C1340N “Системы контроля на нейрокомпьютерах”, а для отражения их применения — C1290L “Применение системных теорий в биологии и медицине”.

Кроме того, публикации по проблемам, связанным с теоретической и математической биофизикой, а также с разработками в области оптических нейронных сетей и логических элементов в них отражены в INSPEC-A “Физика” — коды A4280V, A8710 и A8730; а по элементной базе нейроустройств и оптических нейронных сетей — в INSPEC-B “Электроника и электротехника” — коды B1295 и B4180 [19].

В “Рубрикатор информационных изданий ВИНТИ” также были введены две рубрики: 282.23.37 “Нейронные сети”, 502.33.43 “Нейрокомпьютеры” [20].

### 3.4. Динамика распределения публикаций по кодам классификаторов

Как отмечалось выше, наиболее развитым классификатором, отражающим различные аспекты нейросетевых исследований, является в настоящее время классификатор БД INSPEC. Изучение динамики наполнения пяти кодов классификатора, характеризующих основные направления работ, показало, что наибольший интерес мирового научного сообщества по-прежнему сосредоточен на задачах исследования “нейронных сетей” и создания на их основе нейрокомпьютеров. При этом, начиная с 1995 г., суммарные потоки публикаций по нейронным сетям и нейрокомпьютерам стали практически одинаковы и составляют соответственно около 50,5% и 48,6% в общем массиве публикаций (рис. 5 — кривые 1, 2). Доля работ, относящихся к разработке элементной базы (код C5190) составляет около 4,2% (рис. 5 — кривые 3, 4); к системам контроля нейроустройств — около 7,8%; к разработке оптических нейросетевых устройств (код

C5270) — 1,7% публикаций, а к применению в биологии и медицине (код C1290L) — около 22,4%. При поиске по всем классификационным кодам, относящимся к рассматриваемой тематике, массив публикаций в БД INSPEC C составляет 131,5 тыс., при поиске по ключевым словам — 97,2 тыс. Это означает, что 34,3 тыс. публикаций (26,1%) содержат несколько аспектов исследования.

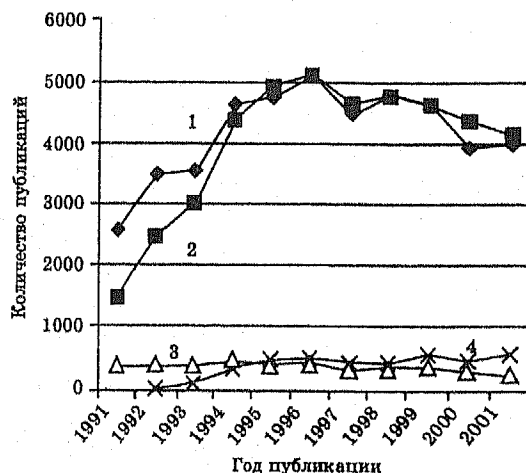


Рис. 5. Динамика распределения суммарного потока публикаций в БД INSPEC-C по годам публикации: по нейронным сетям (код C1230D) — 1; по нейрокомпьютерной технике (код C5290) — 2; по элементной базе нейронных сетей (код C5190) — 3; по применению нейронных сетей в биологии и медицине (код C1290L) — 4.

Оценив долю публикаций по нейроисследованиям в каждом из массивов INSPEC-A (около 8,3%), INSPEC-B (около 5,2%) и INSPEC-C (около 98%), можно предположить, что основное внимание ученых, работающих в этой области, уделяется вопросам, связанным с вычислительной техникой.

Одной из наиболее удобных форм предоставления информации ученым, работающим в области нейросетевых исследований, является выпуск с 1992 г. селекта “Neural Networks” (ISSN 0964-0169), включающего около 1,5 тыс. публикаций ежемесячно.

### 3.5. Распределение потока публикаций по видам документов

Основной поток первоисточников в БД ВИНТИ и CAS, характеризующий устойчиво развивающееся приоритетное направление, связанное с нейросетевыми исследованиями, состоит в основном из статей из периодических и продолжающихся изданий — около 84%, из которых около 1% приходится на публикации обзорного характера; статей из сборников трудов конференций — около 8%; книг и препринтов — около 1%; диссертаций — около 2% — это исследовательский фронт. Доля патентных документов составляет около 3%, отчетов — около 1,5% — это характеристика практических разработок (рис. 6). В БД INSPEC основными первоисточниками для данного тематического направления являются статьи из журналов — около 53,1%; статьи в трудах конференций — около 44,9%, причем еще около 9% статей, представленных на конференциях, публикуется в профильных журналах; около 0,8% составляют книги и около

1,2% — сообщения о конференциях, рефераты и отчеты. В БД SCI отражаются в основном статьи из журналов; даже труды конференций присутствуют в информационном массиве в основном в том случае, если они публикуются в одном из профильных по тематике конференции журналов. Как отдельный вид документа редакционные статьи (editorial) представлены в виде сообщения об издании сборника трудов конференции; патентные документы не отражаются совсем.

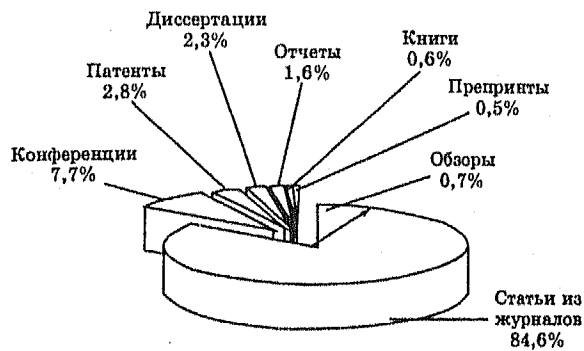


Рис. 6. Распределение потока публикаций по видам документов в БД: 1 — CA и ВИНТИ, 2 — INSPEC-C и SCI

Статьи из периодических и продолжающихся изданий в базах данных 2001 г. представлены массивом, насчитывающим около 1000 журналов. Анализ списка журналов, ранжированного по частоте отраженных в них публикаций, дает возможность выявить группы журналов, относящихся к “ядерной” и “профильной” зонам продуктивности и оценить объем малопродуктивных журналов в рассматриваемом тематическом направлении. В БД INSPEC, SCI, CAS и ВИНТИ ядерными являются 22 журнала:

1. Proceedings of the SPIE (USA),
2. IEEE Transaction on Neural Networks (USA),
3. Neural Networks (GB),
4. Neurocomputing (Netherlands),
5. Neural Computation (USA),
6. International Journal of Neural Systems (Singapore),
7. Transaction of the Institute of Electrical Engineers of Japan (JP),
8. AIP Conference Proceeding American Institute of Physics (USA),
9. Journal of Chemical Information and Computer Sciences (USA),
10. Physical Review E (Statistical, Nonlinear and Soft Matter Physics) (USA),
11. Control Theory & Application (China),
12. Нейрокомпьютеры: разработка, применение (Россия),
13. Ecological Modelling (Netherlands),
14. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics A (Systems & Humans) (USA),
15. Neural Network World (Czech. Republic),
16. Pattern Recognition (UK),
17. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences (Japan),
18. Neural Processing Letters (Netherlands),
19. Information and Control (China),
20. Neural Computation & Application (UK),
21. Fuzzy Sets and Systems (Netherlands),
22. Доклады РАН (Россия).

### 3.6. Распределение потока публикаций по странам и языкам

Информация по странам, в которых проводятся и/или публикуются исследования по “нейронным сетям”, в рассматриваемых БД различна. В БД INSPEC в поле “страна” включена информация о 44 странах — создателях документов, в БД ВИНТИ — информация о 34 странах-издателях, а в БД SCI, CAS — информация о 60 странах, в которых работают авторы (по их гражданству). Распределение по странам в трех БД представлено в табл. 1.

Таблица 1  
Распределение потока публикаций по странам в БД INSPEC, SCI, ВИНТИ (в %)

Страна	INSPEC	SCI	ВИНТИ
США	47,2	27,9	26,1
Великобритания	13,2	8,8	7,6
Китай	7,5	8,6	19,9
Германия	8,3	6,3	4,8
Япония	3,1	7,0	7,5
Россия	0,6	1,0	23,9
Нидерланды	9,6	1,8	3,8

Из табл. 1 видно, что неоспоримым лидером по числу работ в области нейронных сетей остаются США. Однако в последнее время очень быстро увеличивается число публикаций в КНР и Великобритании. Почти все основные издания сосредоточены в Нидерландах, Японии и Германии. Нидерланды являются преимущественно центром публикации авторов из разных стран, а в Японии и Германии активно публикуются местные авторы.

Изучение географии работ авторов по БД SCI показывает, что наиболее активные исследования ведутся также в Италии, на Тайване, в Испании, Франции, Южной Корее, Австралии.

Анализ массивов документов по языкам их опубликования показал, что в рассматриваемых БД можно найти публикации на 21 языке. Распределение основного потока публикаций по языкам представлено в табл. 2.

Таблица 2  
Распределение потока публикаций по основным языкам в БД INSPEC, SCI, ВИНТИ и CA (в %)

Язык	INSPEC	SCI	ВИНТИ	CA
Английский	90,3	98,2	48,7	76,3
Русский	0,3	0,03	25,1	1,2
Немецкий	0,1	0,3	1,7	1,6
Японский	2,0	0,1	5,1	3,9
Китайский	6,0	0,9	16,7	15,1

Из табл. 2 видно, что подавляющее число авторов публикует свои работы на английском языке. Из других иностранных языков следует отметить также китайский, японский и немецкий. Доля остальных языков незначительна — менее 2%.

### 3.7. Выявление и развитие точек роста отдельных направлений в нейроисследованиях

Благодаря устойчивому интересу и широким возможностям использования в различных отраслях знания, сформировалось приоритетное направление “нейронной сети”.

Области наиболее активных исследований по нейросетям, число публикаций в которых нарастают особенно быстро:

- нечеткие нейронные сети,
- выделение правил из обученных нейронных сетей,
- клеточные нейронные сети,
- самоорганизация (рис. 7),
- распознавание образов.

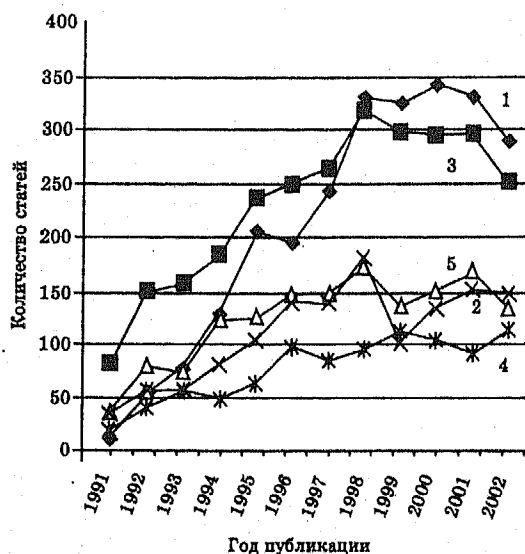


Рис. 7. Динамика распределения потока публикаций в БД SCI в приоритетном направлении "нейронные сети" по видам: нечеткие нейронные сети — 1; самообучающиеся нейронные сети — 2; нейросетевые экспертные системы — 3; клеточные нейронные сети — 4; распознавание образов — 5.

Общим для этих направлений является то, что они вызваны проявившимися на практике недостатками традиционных нейросетевых моделей.

Интерес к объединению нейронных сетей с нечеткими представлениями вызван необходимостью учитывать, что в прикладных задачах, связанных с обработкой информации из реального мира, входная информация обычно является неточной и неопределенной. Нечеткие представления дают возможность количественной оценки неопределенности входной информации и надежности получаемых на ее основе решений обученной нейронной сети.

Работы, посвященные выделению правил, ставят своей целью интерпретацию результатов обучения. Нейронные сети являются средством классификации, т. е. принимают решение о том, к какому из возможных классов принадлежит предъявленный образец, но не дают никакого объяснения причинам, по которым было принято это решение. Наличие средств интерпретации превращает нейронную сеть в обучающуюся экспертную систему.

Преимущества клеточных нейронных сетей перед традиционными моделями заключаются в снижении числа избыточных связей в нейронной сети. Благодаря этому достигается повышение быстродействия при работе в рекуррентном режиме и снижение числа посторонних решений. Кроме того, клеточные нейронные сети эффективны с точки зрения аппаратной реализации на параллельных и распределенных процессорах. Работы в этой области связаны как с изучением различных моделей клеточных нейронных сетей, так и с их аппаратной реализацией.

Самоорганизация особенно удобна в тех приложениях, где отсутствует возможность получения обучающих данных от экспертов в данной прикладной области. Такая ситуация типична в системах, обрабатывающих информацию о неизвестном окружении. Поскольку суть самоорганизации заключается в том, что нейронная сеть самостоятельно отбирает из входного потока данных образцы для обучения, выбор самоорганизующейся модели должен учитывать специфику поступающей информации и средств измерения.

Явно проявляющаяся тенденция к сближению числа публикаций по нейронным сетям и нейроразстройствам показывает, что нейронные сети перестают быть модной темой теоретических исследований и становятся областью разработки практических средств для решения прикладных задач (см. рис. 8, 9). Очевидно, что для эффективного использования достоинств нейросетевых вычислений, их надо реализовать на параллельных или распределенных архитектурах, поэтому работы по аппаратной реализации нейросетевых моделей связаны с оптическими ЭВМ.

### 3.8. Применение нейронных сетей и нейрокомпьютеров

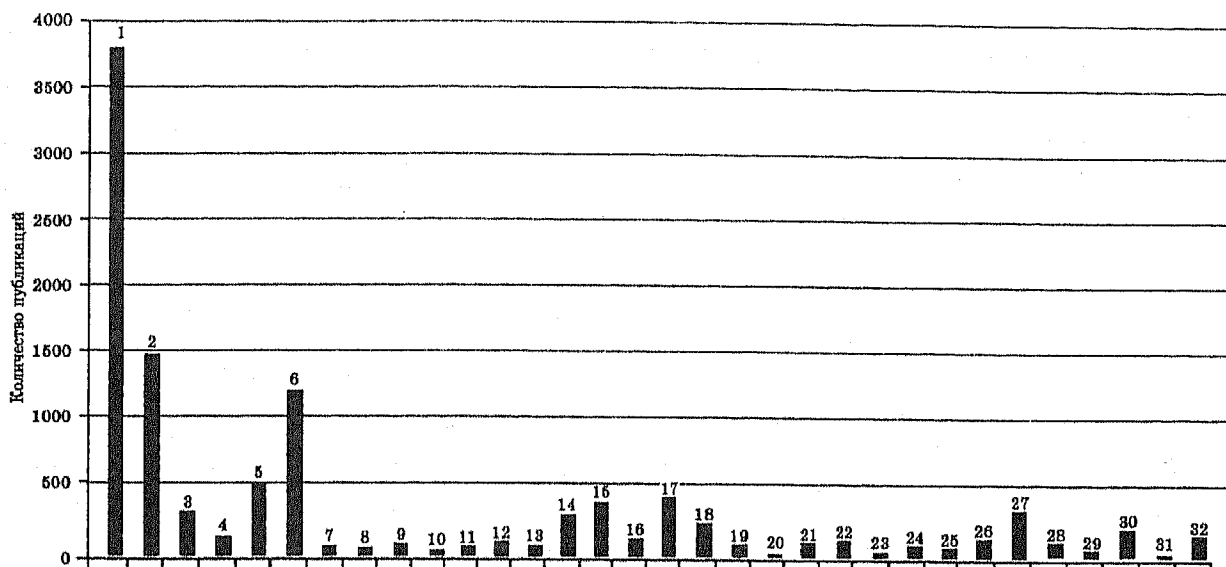
Распределение по основным разделам классификатора CAS (рис. 8) и по тематическим фрагментам БД ВИНТИ в различных областях знания (рис. 9) позволяет сделать вывод об использовании достижений в нейроисследованиях практически во всех отраслях науки и техники. Нейронные сети находят применение в различных областях: физике, химии, медицине, геологии, машиностроении, бизнесе и др. для решения задач прогнозирования, классификации и управления.



Рис. 8. Отражение приоритетного направления "нейронные сети" в различных тематических разделах CAS

Интересно отметить следующий факт, отражающий мультидисциплинарность современной науки: название научного направления "нейросетевые исследования" свидетельствует о принадлежности его к наукам о живом, а именно к нейрофизиологии. Однако бурный рост исследований в конце XX столетия относится в основном к развитию математической теории нейронных сетей, разработке новых алгоритмов машинной обработки информации, в частности, методов обработки изображений и речи, созданию принципиально новых





1. Политематическая база данных. 2. Техническая кибернетика. 3. Автоматика. 4. Вычислительные машины и системы. 5. Программное обеспечение. 6. Вычислительные науки. 7. Математика. 8. Информатика. 9. Радиотехника. 10. Электроника. 11. Связь. 12. Метрология и измерительная техника. 13. Астрономия. 14. Физика. 15. Химия. 16. Механика. 17. Биология. 18. Медицина. 19. Физико-химическая биология. 20. Генетика. 21. Охрана окружающей среды. 22. Геология. 23. География. 24. Геофизика. 25. Горное дело. 26. Metallургия. 27. Машиностроение. 28. Транспорт. 29. Электро-техника. 30. Энергетика. 31. Издательское дело и полиграфия. 32. Экономика промышленности.

Рис. 9. Отражение приоритетного направления "нейронные сети" в политематической БД ВИНТИ и 31 ее тематическом фрагменте

вычислительных машин — нейрокомпьютеров [10]. Доля нейросетевых работ, связанных непосредственно с нейрофизиологической тематикой, невелика — около 10%. Это связано с тем, что новые идеи и подходы к изучению способности биологических нервных систем обучаться и исправлять ошибки, разработанные в теории нейронных или когнитивных сетей, оказались чрезвычайно полезными для более адекватного описания и понимания сущности многих процессов, протекающих в организме человека.

Анализ статистики распределения публикаций в политематических БД ВИНТИ и Chemical Abstracts Service (CAS) дает возможность оценить широту исследований по нейронным сетям в различных областях точных и естественных наук и использования нейросетевых методов для анализа, моделирования, управления, оптимизации и контроля в технических отраслях. Из рис. 8 и 9 видно, что основными теоретическими дисциплинами, определяющими исследовательский фронт, являются биология, физика и математика, включающая техническую кибернетику и программное обеспечение (см. рис. 9). Современные теории искусственного интеллекта рассматривают несколько подходов к созданию интеллектуальных систем. Подход, названный вычислительная нейронаука (computation neuroscience) делает упор на развитие и функционирование нервной системы. Подход, именуемый "нейронные сети" (neural networks), рассматривает новые алгоритмы для определенных приложений, таких как распознавание образов, классификация. Субсимвольный подход (sub-symbolic approach) построен на категориях, называемых символами, которые активируют индивидуальные вычислительные единицы, обрабатывающие данные в нейронной сети.

Класс задач, в которых могут быть успешно реализованы нейросетевые методы, включает медицину (для решения задачи распознавания состояния больного по анализу большого количества показателей состояния здоровья человека); сельское

хозяйство (для определения качества сельскохозяйственных культур) и химическую технологию (для автоматической обработки технологических данных анализа информации по производству полиэтилена; для оптимизации размещения насадок в колонне каталитической ректификации или для предсказания фазовых равновесий идеальных смесей); машиностроение и металлургию (как средство контроля за состоянием оборудования и механизмов — нейронная сеть может быть обучена отличать звук нормально работающей системы от системы с неполадками); электротехнику и энергетику (для анализа сигналов от датчиков, установленных на двигателях, и др.); геологию и горное дело (для классификации состояний объектов нефтедобычи; автоматизации, распознавания и диагностики с целью поддержания нормального состояния скважин; для моделирования смещения потоков в технологических узлах нефтесборных сетей и регулирования уровня в емкостях); экономику (для оптимизации нечетких лингвистических моделей в задачах управления в экономике типа прогнозирования на фондовом рынке, предоставления кредитов и др.) (рис. 9).

Одной из комбинаторных оптимизационных задач, решение которой возможно лишь с применением нейронных сетей, является дистанционное зондирование поверхности Земли.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ публикаций по нейросетевым исследованиям по БД INSPEC, SCI, ВИНТИ и CAS позволяет сделать следующие выводы:

- поток публикаций по исследованиям в области нейросетевых моделей и устройств вышел на стадию стабилизации во всех ведущих странах;

- направления наиболее активных исследований — нечеткие нейросетевые системы, нейросетевые экспертные системы, самоорганизующиеся нейросетевые системы, клеточные нейронные сети;

• прослеживается тенденция к переходу от теоретических исследований в области разработки новых нейросетевых моделей к их аппаратной реализации и практическому применению в различных прикладных задачах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hopfield J. J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities // Proc. Nat. Acad. Sci. USA.— 1982.— Vol. 79.— P. 2554–2558.
2. Kohonen T. Self-organized formation of topologically correct feature maps // Biol. Cybern.— 1982.— Vol. 43.— P. 59–69.
3. Teriokhin A. T. An analysis of the evolution of research on neural networks.— In: Int. Workshop on Neurocomputers and Attention. Pushchino: Biol. Center Acad. Sci.— 1989.— P. 156.
4. Дудин-Барковский В. Л., Терехин А. Т. Нейронные сети и нейрокompьютеры: тенденции развития, исследований и разработок // Микропроцес. средства и системы.— 1990.— № 2.— С. 12–14.
5. McCulloch W. S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity // Bull. Math. Biophys.— 1943.— 5.— P. 115–133.
6. Hebb D. O. The organization of behavior.— N. Y.: Wiley.— 1949.
7. Minsky M. L., Papert S. A. Perceptrons.— Cambridge, MA: MIT Press.— 1969.
8. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики.— М.: Мир.— 1965.
9. Hopfield J. J., Feinstein D. I., Palmer R. G. “Unlearning” has a stabilizing effect in collective memories // Nature.— 1983.— Vol. 304.— P. 158–159.
10. Amit D. J., Gutfreund H., Sompolinski H. Spin-Glass Models of Neural Networks // Phys. Rev. A.— 1985.— Vol. 32.— P. 1007.
11. Hecht-Nielsen R. Counterpropagation Networks.— In: IEEE 1st Int. Conf. on Neural Networks, San Diego.— 1987.— Vol. 2.— P. 19–32.
12. Geman S., Geman D. IEEE Trans. Pattern Anal. And Mach. Intell.— 1984.— Vol. 6.— № 6.— P. 721–741.
13. Kirkpatrick S., Gelatt C. D., Vecchi M. P. Optimization by simulated annealing // Science.— 1983.— Vol. 220.— 4598.— P. 671–680.
14. Kosko B. Stochastic Competitive Learning // IEEE Trans. Neural Networks.— 1991.— Vol. 2.— № 5.— P. 522–529.
15. Van Hemmen J. L., Keller G., Kuhn R. Forgetful Memories // Europhys. Lett.— 1988.— Vol. 5.— P. 663.
16. Комарцова Л. Г., Максимов А. В. Нейрокompьютеры.— М.: Изд. МВТУ им. Баумана.— 2002.— 319 с.
17. Computer & Control Abstracts. Ser. C. Subject Index // INSPEC.— Jun. 1995.— 1287 p.
18. Базы данных STN (Краткое описание и кластеры).— М.: МПП “Биоинформсервис”.— 1995.— 62 с.
19. INSPEC Classification. Science Abstracts. Ser. A, B, C.— 2002.
20. Рубрикатор информационных изданий ВИНТИ.— М.: ВИНТИ, 1999.— 448 с.

Материал поступил в редакцию 19.06.03.

## «БИРЖА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ (БИС)»

Научно-практический журнал

— индексы по каталогу Роспечати «Газеты. Журналы»: 81918, 81919

**Периодичность** — 12 номеров в год.

**Учредитель:** ООО «Международный институт промышленной собственности»

**Адрес редакции:** 117393, Москва, ул. Профсоюзная, д. 66, корп. 1, офис 27

**Телефоны:** тел./факс (095) 334-1847; тел. (095) 334-1977;

тел. (095) 775-2614; тел. (095) 775-2615

**E-mail:** [lynnik@3ip.ru](mailto:lynnik@3ip.ru)

**http:** [www.3ip.ru](http://www.3ip.ru)

**Тематика:** Экономические и правовые проблемы передачи высоких технологий в России и за рубежом; консультации и советы в области инновационной деятельности и оценки стоимости интеллектуальной собственности; информация о предложениях, спросе и договорах по передаче высоких технологий; нормативные акты, судебные решения.

№ 156