

ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ КАК СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ИНФОРМАТИЗАЦИИ

В.А. Касторнова, М.Г. Можяева

Одним из современных направлений исследований является изучение возможностей искусственных нейронных сетей (ИНС, нейросетей) и расширение области их использования. Обзор применений нейронных сетей в различных областях затруднен тем, что при широком разнообразии сфер человеческой деятельности, в которых используются ИНС, приложения носят узкоспециальный характер. В полной мере понять их необходимость и преимущества могут только высококвалифицированные специалисты соответствующей области. К тому же число приложений множится и для получения представления о современном состоянии дел, приходится рассматривать примеры приложений ИНС с описаниями результатов их применения, разбросанные по научным изданиям соответствующих направлений. В данной статье собраны, обобщены и структурированы некоторые сведения о приложениях нейронных сетей.

Применение нейросетевой технологии уместно в случаях, когда формализация процесса решения задачи трудна или вообще невозможна. При работе искусственная нейронная сеть принимает значения входных сигналов/переменных и выдает значения выходных сигналов/переменных. К классу задач, решаемых с помощью нейронных сетей, в первую очередь относятся те, в которых неизвестен характер связи между входом и выходом. Достаточно лишь точно знать, что зависимость между входными и выходными данными существует, тогда она может быть определена в процессе обучения ИНС.

Среди множества задач, которые решают с применением нейронных сетей в различных сферах человеческой деятельности, можно выделить следующие типы.

Классификация и кластеризация. Под кластеризацией понимается разбиение множества входных сигналов на классы, при этом ни количество, ни признаки классов заранее не известны. После обучения такая сеть способна определять, к какому классу относится входной сигнал. Сеть также может сообщать о том, что входной сигнал не относится ни к одному из выделенных классов — это является признаком новых, отсутствующих в обучающей выборке, данных. Таким образом, подобная сеть может выявлять новые, неизвестные ранее классы сигналов. Соответствие между классами, выделенными сетью, и классами, существующими в предметной области, устанавливается человеком. Задача классификации представляет собой задачу отнесения образца к одному из нескольких попарно не пересекающихся множеств. Примером таких задач может быть, например, задача определения кредитоспособности клиента банка, задачи медицинской диагностики, задача определения жизнеспособных и склонных к банкротству фирм. Приведенные ниже классы задач могут использовать кластеризацию и классификацию на начальном этапе как базу для дальнейшего решения.

Прогнозирование. Способности нейронной сети к прогнозированию напрямую следуют из ее способности к обобщению и выделению скрытых зависимостей между входными и выходными данными. После обучения сеть способна предсказать будущее значение некой последовательности на основе нескольких предыдущих значений и/или каких-то существующих в настоящий момент факторов.

Принятие решений и управление. Характеристики ситуации поступают на вход нейронной сети, на выходе сети появляется признак решения, которое ИНС приняла.

Распознавание образов. В качестве образов могут выступать различные по своей природе объекты: символы текста, изображения, образцы звуков и т. д. При обучении сети предлагаются различные образцы образов с указанием того, к какому классу они относятся. Образец, как правило, представляется как вектор значений признаков. При этом совокупность всех признаков должна

однозначно определять класс, к которому относится образец. По окончании обучения сети ей можно предъявлять неизвестные ранее образы и получать ответ о принадлежности к определённому классу.

Аппроксимация. Нейронные сети при правильном выборе их структуры могут вычислять значения любой непрерывную функцию с некоторой наперёд заданной точностью.

Оптимизация. Процесс обучения в ИНС может минимизировать ошибку или энергию, поэтому возможно использование нейронных сетей для решения задач оптимизации.

Сжатие данных и ассоциативная память. Способность нейросетей к выявлению взаимосвязей между различными параметрами дает возможность выразить данные большой размерности более компактно, если данные тесно взаимосвязаны друг с другом. Обратный процесс — восстановление исходного набора данных из части информации — называется (авто)ассоциативной памятью. Ассоциативная память позволяет также восстанавливать исходный сигнал/образ из зашумленных/поврежденных входных данных.

ИНС хорошо подходят для распознавания образов и решения задач классификации, оптимизации, аппроксимации, управления, сжатия данных и прогнозирования, причем сферы деятельности, в которых встречаются задачи этих типов, разнообразны. Однако, в рассмотренных нами источниках [1, 2, 7, 10, 12, 13, 16] либо приводится перечень сфер приложений ИНС без конкретизации, либо встречаются примеры использования нейросетей в какой-то одной области, либо многообразие приложений иллюстрируется разрозненными примерами. Найти полный список областей применений искусственных нейронных сетей с большим количеством примеров нам не удалось, поэтому была предпринята попытка структурировать сведения по этому вопросу из различных источников. Результаты приведены ниже, где содержится перечень возможных применений нейронных сетей, на базе которых либо уже созданы коммерческие продукты, либо реализованы демонстрационные прототипы. Порядок следования в списке определяется

числом различных приложений и массовостью использования технологий нейроинформатики в данной области.

Экономика и финансы

- Оценка и анализ различных показателей: составление карт состояния фондового рынка; составление карт состояния предприятий; оценка стоимости недвижимости; оценка фондов предприятий; анализ организационно-экономического устройства предприятий; исследование факторов спроса; рейтингование; автоматический трейдинг; оценка рисков предоставления кредитов и займов юридическим и физическим лицам.

- Прогнозирование (на краткосрочный период и построение временных рядов): цен на товары и сырье в биржевой деятельности; цен, спроса и котировок акций на фондовом рынке; цен продаж и потребления при реализации товаров и предоставлении услуг; остатков средств на корреспондирующих счетах, а также банкротств; фьючерсных контрактов; валютного курса.

- Оптимизация: товарных и денежных потоков; планирования производства и потребления.

- Управление, документооборот, безопасность: административный контроль; автоматическое считывание чеков и финансовых документов; проверка достоверности подписей; контроль операций с кредитными картами.

Наибольшее число и многообразие приложений ИНС можно наблюдать в сфере **экономики и финансов**. Вследствие того, что своевременный качественный анализ текущего состояния, предложения по оптимизации и точный прогноз даже на краткосрочный период являются основой для увеличения прибыли, а искусственные нейронные сети способны помочь в решении указанных задач, то приложения ИНС в финансовой сфере стали повседневностью.

Например, канадский банк CIBC для управления рисками и идентификации злоумышленников установил программу KnowledgeSeeker фирмы Angoss. С ее помощью специалисты банка выясняют, кто из клиентов в

будущем будет с высокой долей вероятности задерживать выплаты кредитов [14]. Сотрудник Northern Natural Gas, доктор Аль Беренс, обучил нейронную сеть, которая предсказывала изменение цен на газ в следующем месяце со средней точностью 97%. Из отечественных разработок отметим карту состояний российской торговой системы, которая была построена в группе нейрокомпьютинга Физического института им. П.Н.Лебедева Российской академии наук (ФИАН). Кроме анализа ситуации и прогнозов, ИНС применяются и для усовершенствования управления организацией и ускорения и упрощения документооборота. Например, в 1992 г. компания HNC выпустила программный продукт Falcon, позволяющий выявлять и предотвращать в реальном времени подозрительные сделки по краденым кредитным и дебитным картам. Искусственные нейронные сети обучались типичному поведению клиентов и были способны обнаруживать резкое изменение характера покупок, сигнализирующее о возможной краже. Ежегодный ущерб крупных банков от подобных преступлений измерялся десятками миллионов долларов, но благодаря внедрению Falcon в 1994 г. впервые за всю историю пластиковых карт эти потери пошли на убыль. Аналогичная система была разработана фирмой ИТС для мониторинга операций с кредитными картами Visa. Система Quick Strokes-IFPS фирмы Mitek Systems а г.Сан-Диего была установлена в 1993 году в Федеральном резервном банке Чикаго. Она позволяет оперативно распознавать сканируемые чеки.

Промышленное и военное производство

- Управление манипуляторами и робототехника, автоматическое пилотирование.
- Управление качеством.
- Обеспечение безопасности производства: обнаружение неисправностей; предупреждение аварийных ситуаций.
- Управление процессами: оптимизация режимов производственных процессов; мониторинг и визуализация многомерной диспетчерской информации.

•Обработка сигналов: звуковых (разделение, идентификация, локализация, устранение шума, интерпретация); радарных (распознавание целей, идентификация и локализация источников); инфракрасных.

Другое важное направление использования ИНС – **производство и военная отрасль**, где нейросети применяются для прогнозирования, планирования, проектирования, управления манипуляторами и робототехникой, для контроля качества продукции, а также управления процессами.

Например, нейронная сеть, примененная на предприятиях Intel, способна идентифицировать брак при производстве микросхем. Первоначально в опытную систему вводили электрическую испытательную информацию от готовых чипов и соответствующих переменных управления производственным процессом. Обученная нейронная сеть способна забраковать неисправный чип с точностью 99,5%. Путем подачи звуковых волн и приема отраженного сигнала, а затем обработкой ИНС, специалисты из National Institute of Standards and Technology (NIST) проверяют качество бетона при толщине материала до полуметра. Американская компания Anheuser-Busch использовала нейронные сети для идентификации с 96 %-ой точностью органических компонентов, содержащихся в продукции конкурентов. Это позволяло удерживать качество давно выпускаемого продукта и не отставать в производстве нового. Метод нейронных сетей применялся для решения задачи риск-анализа при проектировании самолетов. Был разработан имитатор работы двигателя при различных режимах полёта. На вход имитатора вводится число Маха и высота полёта. На выходе получают стендовые тяговые характеристики. В рамках работ в области автоматического пилотирования созданы обучаемые автопилоты, беспилотные летательные аппараты, предусмотрено адаптивное пилотирование сильно поврежденных самолетов. В частности, в 1996 г. фирмой Accurate Automation Corp был разработан экспериментальный автопилотируемый гиперзвуковой самолет-разведчик LoFLYTE (Low-Observable Flight Test Experiment), предназначенный для исследования новых

принципов пилотирования. LoFLYTE использовал нейронные сети, позволяющие автопилоту обучаться, копируя приемы пилотирования летчика. Имеются исследования, которые могут найти применение в различных отраслях производства. Так, Зуев В.Н., Комиссарчик В.Ф., Киселев А.Н. применили искусственные нейронные сети для краткосрочного прогнозирования электропотребления [9]. Они использовали возможности среды MATLAB и ее пакета расширений Neural Network Toolbox.

Обеспечение безопасности

- Идентификация личности (по лицу, отпечаткам пальцев, голосу, подписи).
- Распознавание автомобильных номеров.
- Мониторинг информационных потоков в компьютерной сети и обнаружение вторжений.
- Обнаружение подделок.
- Распознавание звуков.

В связи с возможностью применения искусственных нейронных сетей в решении задач распознавания образов, звуков, а также мониторинга информационных потоков, ИНС включают **в системы безопасности**.

Нейросистемы фирмы SAIC находят пластиковые бомбы в багаже авиапассажиров. Профессор Теодор В. Бергер Университета Южной Калифорнии (США) рассмотрел вопросы применения нейронных сетей для решения задач автоматического целеуказания в системах видеонаблюдения. Одним из практических применений является устройство, имеющее входы для параболического микрофона и управления поворотной телевизионной камерой. Система автоматически распознает звук и направление выстрела, разворачивая камеру к источнику выстрела. Одновременно посылаются сигналы в соответствующие компетентные органы. В работах Хафизова А.Ф. описывается нейросетевая система обнаружения атак на WWW-сервер [19].

Повышение безопасности информационных систем - это одно из приложений ИНС, кроме того они обеспечивают управление сетями и их

оптимизацию, распознавание, кодирование, сжатие и восстановление информации, а также ее фильтрацию в сферах телекоммуникации, связи и информационных технологий.

Телекоммуникации, связь и информационные технологии

- Управление сетями и их оптимизация: адаптивное управление сетью связи; оптимизация сотовых сетей; оптимизация схем маршрутизации пакетов.

- Распознавание вводимой информации: речи; рукописных текстов; отсканированных документов.

- Обработка и поиск информации: кодирование и декодирование; ассоциативный поиск; сжатие и восстановление изображений и видеоинформации; фильтрация информации, в том числе блокировка спама; определение тематики текстовых сообщений и автоматическая рубрикация новостных лент.

Нейронные сети используются для решения задач в области телекоммуникаций, которые заключаются в нахождении оптимального пути пересылки пакетов между узлами. При этом в реальном времени учитываются текущее состояние сети, качество связи и наличие сбойных участков. Кроме управления маршрутизацией потоков, нейронные сети применяются и при проектировании новых телекоммуникационных сетей, позволяя получать эффективные решения. Компания НейроПроект представила продукт, предназначенный для речевого управления встроенным калькулятором Windows. Для обучения искусственных нейронных сетей использовались варианты произношения 19 дикторов. В результате система распознает каждое из 36 слов независимо от особенностей голоса и произношения. Сервер новостей Convectis (от компании Aptex Software, Inc.) был выбран в 1997 году компанией PointCast Inc. для автоматической рубрики сообщений по категориям. Определяя значения ключевых слов по контексту, сервер Convectis был способен в реальном времени распознавать тематику и автоматически рубрицировать потоки текстовых сообщений, передаваемых по таким информационным сетям, как Reuters, NBC и CBS. Компанией Fein-Marquart

Associates Inc разработана программа распознавания почтовых индексов с автоматической дальнейшей сортировкой. Система распознает как типографские, так и написанные от руки цифры. Точность распознавания оценивается значением 98%.

Медицина

- Изучение причин заболеваний.
- Диагностика: онкологических заболеваний; слуха у глухих детей; заболеваний органов зрения; кардиодиагностика.
- Обработка медицинских изображений: анализ рентгенограмм; обнаружение отклонений в кардиограммах.
- Очистка показаний медицинских приборов от шумов.
- Мониторинг состояния пациентов и анализ эффективности лечения.
- Прогноз течения заболеваний.
- Предсказание механизма действия медицинских препаратов и процедур.
- Оптимизация деятельности медицинских учреждений.

Ряд исследований в области искусственных нейронных сетей посвящено их использованию в **медицине**. Основные направления: изучение причин заболеваний, диагностика различных заболеваний и прогнозирование их течения и воздействия медицинских препаратов и процедур и обработка медицинских изображений. Компанией «НейроПроект» была создана система объективной диагностики слуха у грудных детей. Общепринятая методика диагностики состоит в том, что в процессе обследования регистрируются отклики мозга в ответ на звуковой раздражитель, проявляющиеся в виде всплесков на электроэнцефалограмме. Для диагностики слуха ребенка опытному эксперту – аудиологу необходимо провести около 2 тыс. тестов, что занимает около часа, нейронная сеть способна с той же достоверностью определить уровень слуха по 200 наблюдениям в течение нескольких минут. В НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцина МГУ нейросети применялись для анализа заболеваний органов слуха. Фирмой RES Informatica совместно с Центром кардиологических исследований в Милане разработан пакет

кардиодиагностики для таких болезней, как ишемия миокарда и артериальная гипертензия, достигается точность постановки диагноза более 95 %. В работе [20] продемонстрирован результат использования нейронной сети для дооперационного определения злокачественности опухолей. На основании работы нейросети авторы предложили прогностический тест, чувствительность и специфичность которого очень высока — 100 и 98% соответственно. В Троицком институте инновационных и термоядерных исследований (ТРИНИТИ) в рамках реализуемого Министерством науки проекта создания нейросетевых консультационных систем была разработана нейросетевая программа, которая выбирает метод лечения базальноклеточного рака кожи (базалиомы) на основе долгосрочного прогноза развития рецидива. В 2000 году британскими исследователями В.Уоллесом, Дж. Бамбером опубликована работа [21], в которой описана нейросетевая модель, позволяющая проводить раннюю диагностику новообразований кожи по данным спектрофотометрии. Используя ИНС, было получено подтверждение диагноза в 86% случаев. Созданная этими же авторами математическая модель, использующая классический дискриминантный анализ, давала 72% правильного диагноза; правильная оценка эксперта при ранней диагностике, по данным этих же авторов, составляет только 56%. Диагностика одной из форм опухоли была реализована с помощью нейросетевого симулятора Multineuron, разработанного в ВЦ СОАН в Красноярске под руководством А.Н.Горбаня. Нейросетевые модели находят применение и в офтальмологии. В 2002 году была опубликована работа итальянских авторов [19], которые использовали нейросетевую модель для прогноза прогрессирования тиронид-связанной офтальмопатии. Модель использует 13 клинических признаков в качестве входных переменных, на выходе сети — прогрессирование или стабилизированный неактивный процесс. Процент правильной классификации составил 67% для случайной выборки из 300 глаз. В 2001 году была опубликована работа группы авторов из Великобритании [20], разработавших ИНС, способную диагностировать глаукому. Классификации производится в

три класса — норма, глаукома с повышенным внутриглазным давлением и глаукома без повышенного давления. Немецкие офтальмологи на 60 пациентах (43 больных и 17 здоровых) разработали нейросетевую диагностическую модель для выявления синдрома «сухого глаза» по данным о белковом составе электроэлимината слезы. При сравнении результатов, полученных многомерными статистическими методами и ИНС, предпочтение было отдано нейронным сетям, которые обеспечили правильную диагностику в 89% случаев [18]. Исследователи из медицинской школы в Кагаве (Япония) обучили нейросеть, которая прогнозирует по предоперационным данным результаты резекции печени у больных печеночно-клеточной карциномой, а в Национальном институте рака в США нейросети были использованы для предсказания механизма действия препаратов, применяемых при химиотерапии злокачественных опухолей.

Рекламная и маркетинговая деятельность

- Адресная реклама и маркетинг в глобальных сетях.
- Поиск оптимального сегмента потребительского рынка для товара.
- Определение стратегии поощрительных товаров.

В рекламной и маркетинговой деятельности с помощью ИНС решаются задачи поиска оптимального сегмента потребительского рынка для товара, адресной рекламы и маркетинга. Примером является нейросетевой продукт SelectCast от Aptex Software Inc., который позволяет определять область интересов пользователей Интернета и предлагает им рекламу соответствующей тематики. Летом 1997 года компания Excite Inc. лицензировала эту разработку для использования на своих поисковых серверах. После установки на серверах Excite и Infoseek нейросетевой рекламой было охвачено около трети всех пользователей сети на тот момент. Проведенные исследования установили, что отклик на такую тематическую рекламу был в среднем в два раза выше, чем на обычную, а для отдельных ее видов эффективность увеличивалась до пяти раз. Компания Neural Innovation Ltd использовала при работе с маркетинговыми компаниями стратегию прямой

рассылки. Вначале она осуществляла рассылку всего 25% от общего числа предложений и собирала информацию об откликах и реакциях потребителей. Затем эти данные поступали на вход нейронной сети, с помощью которой осуществлялся поиск оптимального сегмента потребительского рынка для каждого товара. После этого остальные 75% предложений рассылались уже с учетом найденных закономерностей в указанный сегмент, и эффективность второй рассылки значительно возросла по сравнению с первоначальной. Компания GoalAssist Corporation выполнила работу, для которой требовалось исследовать стратегию поощрительных товаров. Обычные методы прогнозирования отклика потребителей в данном случае оказались неточными, в результате чего спрос на некоторые поощрительные товары оказался слишком высоким, и многим покупателям пришлось подолгу ждать получения приза, в то время как другие подарки остались невостребованными. Чтобы повысить точность прогнозирования поведения потребителей, были использованы нейронные сети, обучающиеся на основе накопленной статистики. Для решения задачи применялись пакеты NeuroShell Classifier и NeuroShell Predictor компании Ward Systems Group. Средняя ошибка предсказаний составила около 4%. Корпорация Microsoft использовала программные продукты на основе нейронных сетей в своей маркетинговой политике для увеличения объема продаж. После введения нового метода было достигнуто увеличение спроса с 4,9 % до 8,2 % при одновременном снижении затрат на рекламу на 35 %.

Управление производством и персоналом

- Планирование деятельности.
- Речевое управление и электронные секретари.
- Образование, педагогика, психология
- Организация учебного процесса.
- Обучение и тестирование знаний.
- Оценка психического состояния детей с отклонениями в развитии.
- Имитация интуиции.

Развитие нейросетевых технологий повлекло значительное расширение областей применения ИНС, в частности, появились исследования возможности создания приложений **в сфере образования, в педагогике и психологии**. Так, например можно рассказать о следующих исследованиях. В работах Каргапольцева С.К. и Лашука Н.В. [8] рассматриваются вопросы применения искусственных нейронных сетей в задаче составления расписаний учебных занятий. В работе Донского Д.А. [5] рассмотрено использование нейрокомпьютерных технологий в обучении информатике. Горюшкин Е.И. [3] исследовал возможности использования ИНС для создания систем тестирования знаний студентов. Доррер М.Г. предложил использовать искусственные нейронные сети для имитации интуиции [6]. Исследования Фролова Ю.В., Личко П.К., Булановой О.Е. [17] посвящены применению искусственных нейронных сетей для оценки психического состояния детей с отклонениями в развитии. Для вычислительных экспериментов была использована база данных, отражающая динамику реабилитации в психолого-медико-социальном центре Северо-восточного округа города Москвы. Было использовано 46 факторов диагностики, характеризующих состояние здоровья матери, состав семьи, объективные данные о состоянии детей. Построенная нейронная сеть диагностирует одно из следующих отклонений психического состояния ребенка: астенический синдром; задержку психического развития; неустойчивые состояния; олигофрению; шизофрению. В проведенных авторами экспериментах правильный диагноз получен в 100% случаях.

Различные приложения

- Политологические и социологические технологии: предсказание результатов выборов; анализ опросов; предсказание динамики рейтингов; выявление значимых факторов; кластеризация электората; исследование и визуализация социальной динамики населения.

- Прогнозирование магнитных бурь, ливневых дождей.

- Нефтяная, химическая промышленность и геологоразведка: анализ составов примесей; анализ сейсмических данных; анализ геологической

информации; ассоциативные методики поиска полезных ископаемых; разведка залежей минералов по данным аэрофотосъемок; оценка ресурсов месторождений.

- Спортивное прогнозирование.

В публикациях описаны **другие приложения** искусственных нейронных сетей, отличающиеся разнообразием решаемых задач. В работе Давыдова А.А. [4] описано применение нейронных сетей для выявления неизвестной факторной структуры политической системы. Нейронная сеть обучалась на периоде 1994–2001 гг., а правильный прогноз давала на 2004 год. Доррер М.Г. исследовал предсказание методами нейросетей взаимоотношений в группе на основе состояния и поведения исследуемых. В работе [21] показано, что искусственная нейронная сеть позволяет с удовлетворительной точностью предсказывать взаимоотношения типа «человек-человек» и «человек-группа». Работа Круглова В.В. и Дли М.И. [11] посвящена результатам использования аппарата искусственных нейронных сетей применительно к задаче определения структуры социально-территориальной группы среднего масштаба в рамках исследования электората. Полученные результаты с достаточно высокой точностью совпадали с результатами выборов в федеральные и местные органы власти. Доктор Хенрик Лундстедт из Lund Observatory, Швеция, обучил нейронные сети прогнозировать эффекты от солнечных вспышек, такие как возмущения магнитных полей Земли. Нейронная сеть, учитывая 37 известных влияющих факторов раз в четыре дня и анализируя их изменения, способна точнее стандартных методов определить космическую погоду. Описывается случай, когда стандартный метод прогнозирования не определил сильных магнитных бурь вообще, а метод на основе ИНС в то же время точно спрогнозировал две из трех бурь. В модели ИНС для прогнозирования ливневых дождей, разработанной Тони Холлом, используются 19 метеорологических переменных. ИНС в конкретной местности позволяет делать прогнозы с точностью до 85%. В работе Проказова С.А. [15]

рассмотрены возможности применения ИНС для решения задач нефтепромысловой геологии.

Приведенные примеры показывают, что применения технологии нейронных сетей встречаются практически в любой области, а в таких задачах, как распознавание образов, прогнозирование в экономике, медицинская диагностика, они стали уже широко используемым инструментом. Особо следует отметить факты использования ИНС в образовании, которые демонстрируют перспективность исследований в этом направлении и роль нейросетей как современного средства информатизации.

Литература

1. Горбань А.Н. Нейроинформатика и ее приложения. // Открытые системы. – 1998. – № 4-5. – С. 36 - 41.

2. Горбатов А.И. Прогнозирование экономических показателей на основе искусственных нейронных сетей: диссертация кандидата экономических наук: 08.00.13. М., 2003.

3. Горюшкин Е.И. Использование нейросетевых технологий в адаптивном тестировании по информатике в вузе: диссертация кандидата педагогических наук: 13.00.02. Курск, 2009.

4. Давыдов А.А. Системный подход в социологии: новые направления, теории и методы анализа социальных систем. М.: КомКнига, 2005.

5. Донской Д.А. Нейрокомпьютерные технологии в обучении информатике: диссертация доктора педагогических наук: 13.00.02. Москва, 2006.

6. Доррер М.Г. Интуитивное предсказание нейросетями взаимоотношений в группе // Методы нейроинформатики. Красноярск: КГТУ, 1998.

7. Ежов А.А., Шумский С.А. Нейрокомпьютинг и его применение в экономике и бизнесе. – М.: МИФИ, 1998.

8. Каргапольцев С.К., Лашук Н.В. Система поддержки принятия решений для обеспечения автоматизации управления вузом // Информационные технологии. 2009. № 6. С. 82-84.

9. Комиссарчик В.Ф., Зуев В.Н., Киселев А.Н. Применение нейронных сетей для краткосрочного прогнозирования электропотребления // Программные продукты и системы. 2009 . № 1.

10. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. М.: Горячая линия. Телеком, 2001.

11. Круглов В.В., Дли М.И. Применение аппарата нейронных сетей для анализа социологических данных. // Социологические исследования. 2001. № 9. С. 112-114.

12. Научная сессия МИФИ – 2001. III всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2001»: Лекции по нейроинформатике. М.: МИФИ, 2001.

13. Оссовский С. Нейронные сети для обработки информации. М.: Финансы и статистика, 2004.

14. Писаренко И. Нейросетевые технологии в безопасности // «Information Security / Информационная безопасность». 2009. №4. С. 34.

15. Проказов С.А. Нейросетевые методы и программное обеспечение для решения задач нефтепромысловой геологии: диссертация кандидата технических наук: 05.13.01. Томск, 2003.

16. Сараев П.В. Применение нейронных сетей для управления ценовой политикой предприятия. // Сборник трудов V Научно-практического семинара «Новые информационные технологии». М.: МГИЭМ, 2002. С. 40-48.

17. Фролов Ю.В., Личко П.К., Буланова О.Е. Применение искусственных нейронных сетей для оценки психического состояния детей с отклонениями в развитии // Материалы IX международной конференции-выставки «Информационные технологии в образовании» («ИТО-99»), 1999.

18. Paul E. Keller, Lars J. et al. A Novel Approach to Modeling and Diagnosing the Cardiovascular System. (WCNN'95) in Washington, DC, USA, from 17-21 July 1995.

19. Salvi M., Dazzi D., Pellistri I., Neri F., Delfini E., Minelli R., Roti E.: Capacita predittiva di un modello di rete neurale per la progressione dell'oftalmopatia tiroidea: confronto con la valutazione oftalmologica. Deciasettesime Giornate Italiane della Tiroide. Ferrara 9-11 dicembre 1999, p.197.

20. Tailor A., Jurkovic D., Bourne T.H. et al. Sonographic prediction of malignancy in adnexal masses using an artificial neural network. // Br.J.Obstet.Gynaecol. – 1999 – Jan; 106(1) – p. 21-30.

21. Wallace V., Bamber J., Crawford D., Ott R., and Mortimer P., Classification of reflectance spectra from pigmented skin lesions, a comparison of multivariate discriminant analysis and artificial neural networks. Phys. Med. Biol., 45, 2859, 2000.