

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СИМУЛЯТОР НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ, ОБЗОР ЕГО ПРИЛОЖЕНИЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

Черепанов Ф.М.

*Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Сибирская, 24), e-mail: fe-c@yandex.ru*

---

Охарактеризовано современное состояние в области разработки программных инструментов, предназначенных для генерации, оптимизации, обучения, тестирования и применения нейронных сетей. Выполнена их классификация и указаны недостатки. В качестве альтернативы предлагается программа «Нейросимулятор-4», обладающая рядом принципиально новых качеств: возможностью функциональной предобработки входных сигналов, новым нейросетевым алгоритмом оценки степени влияния входов на результат нейромоделирования, возможностью построения дружественного пользовательского интерфейса. Выполнен обзор применения нового программного инструмента для решения задач поддержки принятия решений и распознавания образов в промышленности, экономике и бизнесе, политологии и социологии, криминалистике, спорте, экологии и энергосбережении, педагогике и психологии, в исторической науке. Описан опыт применения и обсуждены возможности применения нового инструментария для создания системы диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы.

Ключевые слова: искусственный интеллект, моделирование, нейронные сети, медицина, диагноз.

## NEURAL NETWORK SIMULATOR, REVIEW OF ITS APPLICATION FOR THE ESTABLISHMENT OF DIAGNOSIS OF CARDIOVASCULAR DISEASES

Cherepanov F.M.

*Perm state humanitarian pedagogical university, Perm, Russia (614990, Perm, Sibirskaya St., 24), e-mail: fe-c@yandex.ru*

---

The current state in the development of software tools, intended for the generation, optimization, training, testing, and application of neural networks. Performed their classification and are drawbacks. An alternative program "Neuro-simulator-4", which has a number of innovative qualities: ability to functional preprocessing of input signals, a new neural network algorithm for assessing the impact of inputs on the result of neural network modeling, the ability to build a friendly user interface. The review of the application of a new software tool for solving the problems of decision support and recognition in the industry, the economy and business, political science, sociology, criminology, sport, the environment and energy conservation, education and psychology, the science of history. The experience of the application and discussed the possibility of using new tools to create a system of diagnosis of diseases of the cardiovascular system.

Keywords: artificial intelligence, modeling, neural networks, medicine, diagnosis.

В свете возрастающего интереса к нейросетевым технологиям появляется все большее число проектов, в основе которых применяется данный подход. Такие проекты, как правило, обусловлены большими размерностями и объемами обрабатываемых данных.

В настоящее время существует множество инструментальных средств для работы с нейронными сетями, которые традиционно включают генерацию начальной структуры сети, ее оптимизацию, обучение, тестирование и применение. Этот инструментарий можно разделить на три группы.

### 1. Надстройки для программ прикладных вычислений.

- Matlab\_Neural\_Network – набор нейросетевых расширений для пакета прикладных вычислений Matlab.

- Statistica\_Neural\_Networks – набор нейросетевых расширений для пакета прикладной статистики Statistica.
- Excel\_Neural\_Package – набор библиотек и скриптов для электронных таблиц Excel, реализуют некоторые возможности нейросетевой обработки данных.

## **2. Универсальные нейросетевые пакеты.**

- NeuroSolutions – нейропакет предназначен для моделирования широкого круга искусственных нейронных сетей.
- NeuroPro – менеджер обучаемых искусственных нейронных сетей.
- NeuralWorks – нейропакет, в котором основной упор сделан на применение стандартных нейронных парадигм и алгоритмов обучения.

## **3. Специализированные.**

- Neuroshell Trader – одна из наиболее известных программ создания нейронных сетей для анализа рынков.
- Глаз – используется для обработки аэрокосмической информации.

К недостаткам программных средств первой группы можно отнести: высокую стоимость самой среды, богатую функциями, которые очень маловероятно понадобятся при работе с нейронной сетью; необходимость приобретения самой надстройки; для взаимодействия с пользователем используется интерфейс среды, который не всегда удобно использовать для работы с нейронными сетями.

Пакеты второй группы имеют более специализированный интерфейс, но, как и первые, стоят немалых денег, имеют слишком много функций и сложны для освоения.

Основным недостатком программных средств третьей группы является то, что они предназначены для решения только конкретного класса задач или только для решения конкретной задачи. Причем зачастую методы решения данных задач заложены разработчиком и модификаций не допускают.

Существуют также разработки отдельных авторов, распространяемые бесплатно, но каждая из них имеет один или несколько из нижеперечисленных недостатков: неудобный интерфейс; сильно урезанная функциональность; нестабильность в работе; невозможность модификации заложенных алгоритмов.

В связи с этим Пермской научной школой искусственного интеллекта ([www.PermAi.ru](http://www.PermAi.ru)) уже более десяти лет разрабатываются версии программы «Нейросимулятор». Предыдущие версии этой программы [13-15; 18-21] были ориентированы

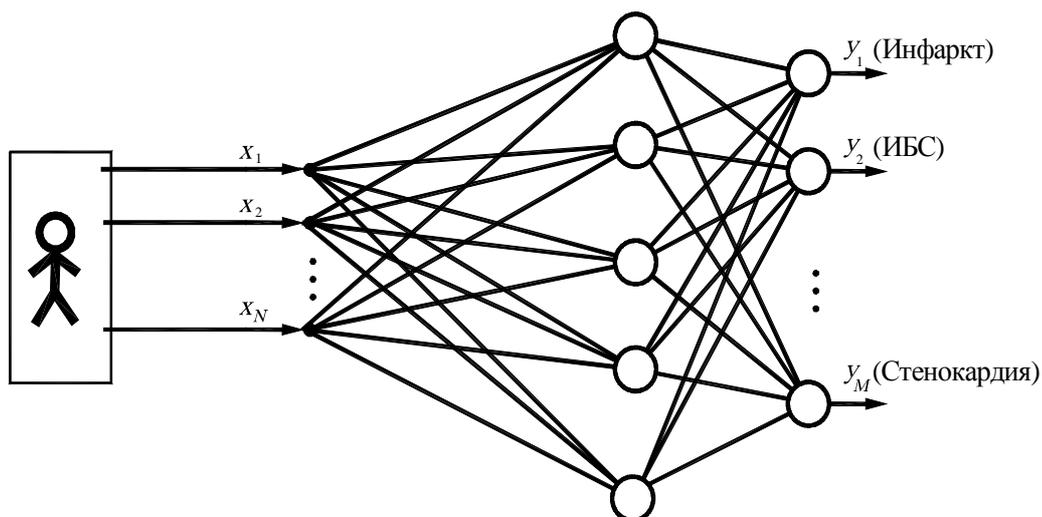
преимущественно для применения в учебном процессе и не годились для выполнения крупных промышленных проектов. В 2012 г. появилась новая версия программы «Нейросимулятор-4». Была повышена скорость процесса обучения за счет значительной переработки внутренней структуры, оптимизации алгоритмов обучения и введения поддержки многопроцессорных систем. Помимо алгоритма обратного распространения ошибки, были добавлены следующие алгоритмы обучения: упругого распространения, быстрого распространения, сопряженных градиентов, генетический, Левенберга – Марквардта. Реализована процедура функциональной предобработки множества примеров предметной области, усиливающая линейную корреляционную зависимость между входными и выходными параметрами. В новой версии реализован специальный конструктор. На основе заданных параметров предметной области конструктор задаёт все необходимые преобразования входных данных и результатов вычислений. На основании этих же данных о предметной области конструктор генерирует удобный интерфейс для практического использования обученной нейронной сети. Процедуры обнаружения конфликтных примеров и посторонних выбросов в статистической информации позволяют успешно применять «Нейросимулятор» в областях, считавшихся ранее не пригодными или плохо пригодными для статистического моделирования.

Ранее «Нейросимулятор» был применен в задачах нейросетевого моделирования в промышленности [1; 6; 23; 25; 27; 30; 31; 33], экономике и бизнесе [23-25; 27; 30; 37], политологии и социологии [30; 33; 42], криминалистике [5; 11; 23; 25; 30; 34-36; 39-40], спорте [38], экологии и энергосбережении [1; 2; 23; 26; 29], педагогике [12; 16; 17; 22; 32; 41], в исторической науке [7-9], туризме [24] и др.

В настоящее время делаются попытки его применения в медицине, в частности – для разработки системы диагностики сердечно-сосудистых заболеваний [3; 4; 10; 25; 28]. На вход персептрона с сигмоидными активационными функциями подается информация о пациенте, а с выхода снимается диагноз заболевания, как показано на схеме (рис. 1). Входные параметры  $x_1, x_2, \dots, x_N$  характеризуют паспортные данные и жалобы пациента, анамнез его заболевания и жизни, данные объективного исследования, всего 67 параметров. Выходные параметры  $y_1, y_2, \dots, y_M$  кодируют диагнозы заболеваний сердечно-сосудистой системы: ишемическая болезнь сердца (ИБС) и ее клинические формы: инфаркт миокарда, стенокардия стабильная, стенокардия нестабильная, острая левожелудочковая

недостаточность, хроническая сердечная недостаточность. Таким образом, нейронная сеть персептронного типа содержит  $N = 67$  входных нейронов и  $M = 6$  выходных нейронов.

Врачи-эксперты на основе данных опроса, осмотра пациента, анализа лабораторных и инструментальных методов исследований выставляли в баллах степень своей уверенности в том или ином диагнозе, используя 100-балльную шкалу. Всего было заполнено и обработано 669 анкет, каждая из которых составляла пример, характеризующий предметную область.

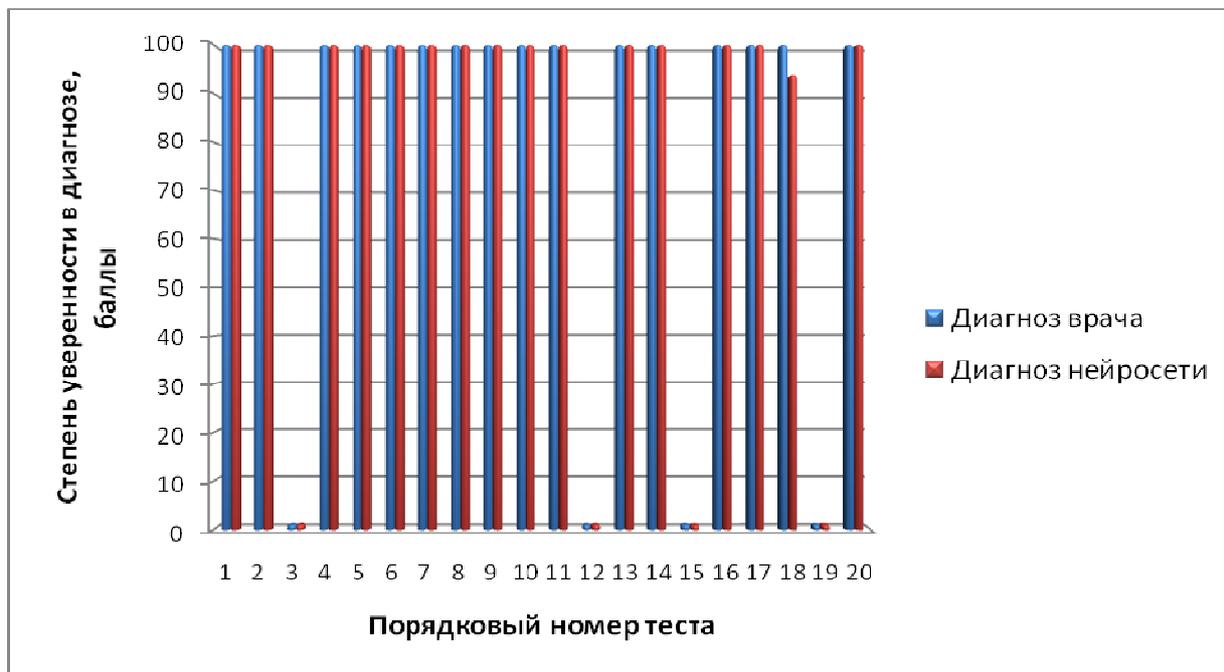


**Рис. 1. Принципиальная схема нейросетевой диагностической медицинской системы.**

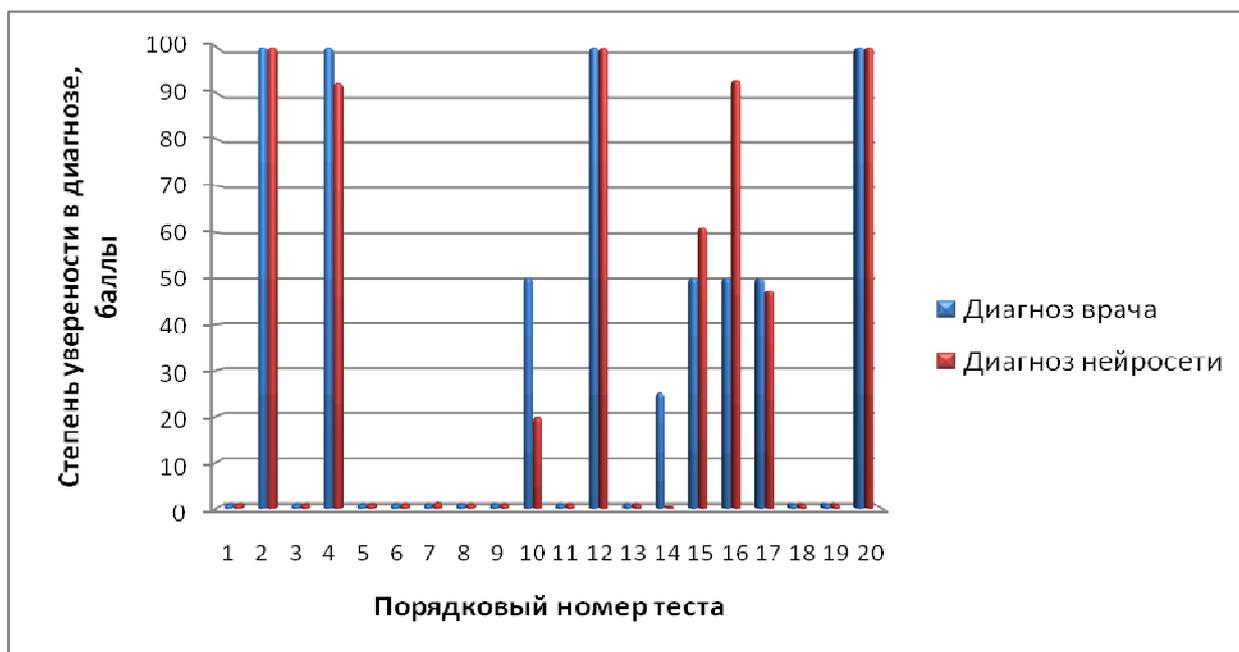
Согласно общепринятой технологии проектирования нейронных сетей [25] всё множество примеров разбивалось на обучающее  $L$ , тестирующее  $T$  и подтверждающее  $P$  в соотношении: 70% : 20% : 10%. Обучение нейронной сети производилось различными методами: методом обратного распространения ошибки, методом упругого обратного распространения, методом Левенберга–Марквардта и др. Оптимизация структуры нейронной сети – выбор оптимального количества скрытых нейронов и активационных функций, проводилась вручную, а также с применением генетических алгоритмов.

Результаты проверки работы нейросетевой диагностической системы на подтверждающем множестве примеров  $P$  представлены графически на рис. 2 и 3 в виде сопоставления фактического диагноза, поставленного врачами-экспертами, и диагноза, полученного в результате вычислений нейронной сети. Для обеспечения качества изображения на рисунках приведены только по 20 тестовых примеров и только для двух заболеваний. Значения среднеквадратичной погрешности  $\varepsilon_p$ , подсчитанные при

диагностике каждого заболевания, на подтверждающем множестве  $P$ , приведены в таблице 1.



**Рис. 2. Сопоставление диагнозов врача и нейросети заболевания «Ишемическая болезнь сердца».**



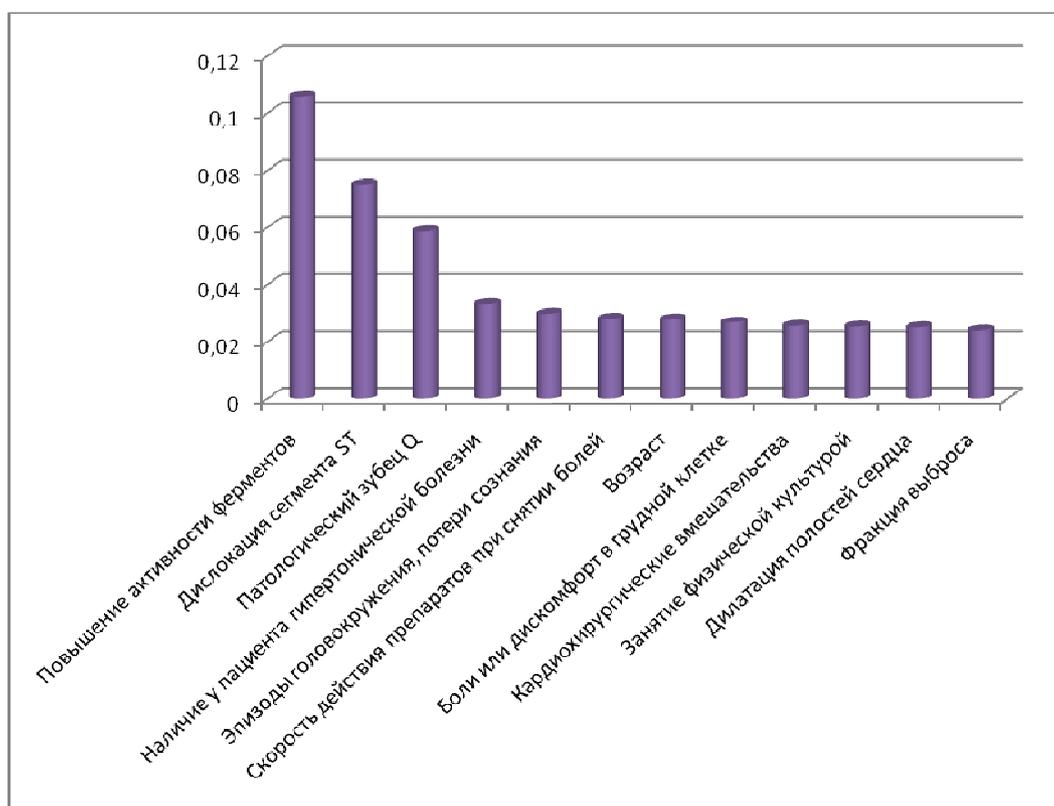
**Рис. 3. Сопоставление диагнозов врача и нейросети заболевания «Стенокардия нестабильная».**

**Таблица 1 – Погрешности постановки диагнозов**

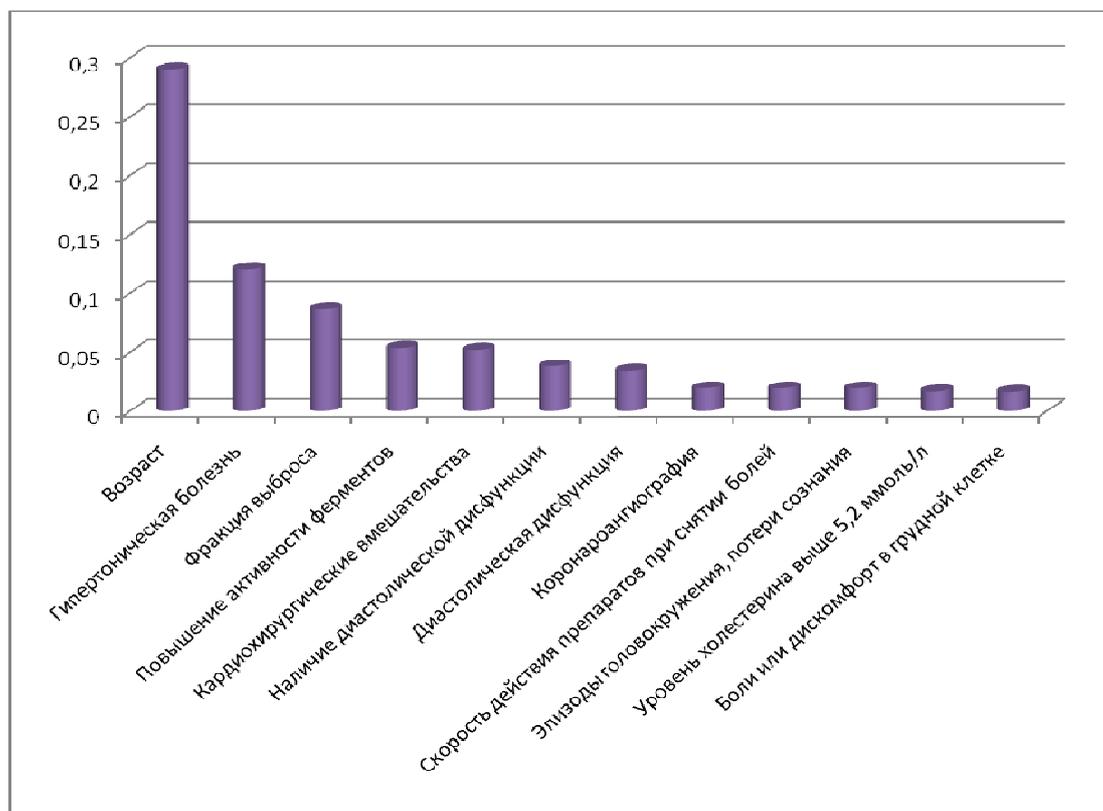
Диагноз	Погрешность $\varepsilon_p$ , %
Инфаркт миокарда	0,9
Ишемическая болезнь сердца	1,3
Хроническая сердечная недостаточность	1,7
Стенокардия нестабильная	13,4
Острая левожелудочковая недостаточность	28,6
Стенокардия стабильная	31,2

Как видно из таблицы, диагнозы врача и нейросети различаются между собой на величину погрешности  $\varepsilon_p$  от 0,9% (инфаркт миокарда) до 31,2% (стенокардия стабильная).

Прежде всего, полученная математическая модель была использована для определения значимости ее входных параметров, оцененной путем поочередного удаления входных нейронов и наблюдения за ошибкой тестирования [18].



**Рис. 4. Значимость параметров и симптомов при постановке диагноза «Инфаркт миокарда».**



**Рис. 5. Значимость параметров и симптомов при постановке диагноза «Хроническая сердечная недостаточность».**

Как видно из гистограмм рис. 4 и 5, на которых построены нормированные от 0 до 1 ошибки тестирования сети для каждого удаленного параметра (симптома), для постановки разных диагнозов наибольшее значение имеют разные характеристики-симптомы пациентов. При постановке диагноза «Инфаркт миокарда» следует в первую очередь обращать внимание на повышение активности ферментов, дислокацию сегмента ST и наличие патологического зубца Q. При постановке диагноза «Хроническая сердечная недостаточность» очень большое значение имеет возраст пациента, а затем уже наличие гипертонической болезни, фракция выброса и др.

Отметим, что выявленные здесь с помощью нейросетевой модели знания в большинстве своем не являются новостью для опытных врачей-диагностов и поэтому не имеют практического значения. Но они лишней раз подтверждают адекватность

разработанной нами нейросетевой модели и моделируемой предметной области, а также работоспособность нейросетевого алгоритма вычисления значимости входных параметров.

Как показали дальнейшие вычислительные эксперименты, выполненные над системой, нейронные сети, лежащие в ее основе, извлекли знания о предметной области, в том числе и такие, которые медицинской науке неизвестны. В результате компьютерных экспериментов были обнаружены факты, не согласующиеся со сложившейся в современной медицине практикой давать одни и те же рекомендации всем без исключения кардиологическим больным: соблюдать гипохолестериновую диету, отказаться от «вредных привычек», ограничить употребление кофе, спиртных напитков, похудеть, ограничить умственную и физическую нагрузку и т.д. Эксперименты показали, что эти рекомендации действительно полезны, но только не для всех, а для большинства кардиологических больных. Выявить нетипичных пациентов, для которых указанные рекомендации не только не полезны, но и могут причинить вред, позволяет нейросетевая диагностическая система.

Таким образом, программа «Нейросимулятор» позволила создать полезный для медицинской науки программный инструментарий, выявить с помощью него медицинские знания, представляющие практический интерес, и сделать шаг в направлении решения актуальной задачи персонализации медицинского обслуживания населения.

### Список литературы

1. Бондарь В.В., Малинин Н.А., Ясницкий Л.Н. Нейросетевой прогноз потребления электроэнергии, анализ значащих факторов и разработка полезных рекомендаций // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. – 2006. – С. 10-17.
2. Бондарь В.В., Малинин Н.А. Ясницкий Л.Н. Нейросетевой прогноз потребления электроэнергии предприятиями бюджетной сферы // Вестник Пермского университета. Математика. Информатика. Механика. – 2005. – № 2. – С. 23-27.
3. Думлер А.А. [и др.] Опыт создания нейросетевой системы для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. – 2011. – № 5. – С. 95-101.
4. Думлер А.А. [и др.] Нейросетевая система дифференциальной экспресс-диагностики сердечно-сосудистых заболеваний // Актуальные проблемы механики, математики, информатики : сб. тез. Всероссийской научно-практической конф. (Пермь, 12–15 октября 2010 г.) / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2010. – С. 82.

5. Зибатова А.Н. [и др.] Интеллектуальный полиграф // Российский полиграф. – 2006. – № 1. – С. 76-83.
6. Конев С.В., Сичинава З.И. Ясницкий Л.Н. Применение нейросетевых технологий для диагностики неисправностей авиационных двигателей // Вестник Пермского университета. Математика. Информатика. Механика. – 2005. – № 2. – С. 43-47.
7. Корниенко С.И. [и др.] Программный комплекс для распознавания рукописных и старопечатных текстов // Информационные ресурсы России. – 2011. – № 1. – С. 35-37.
8. Корниенко С.И., Черепанов Ф.М., Ясницкий Л.Н. Подсистема распознавания старопечатных текстов // Актуальные проблемы механики, математики, информатики : сб. тез. Всероссийской научно-практической конф. (Пермь, 12–15 октября 2010 г.) / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2010. – С. 110.
9. Корниенко С.И. [и др.] Программный комплекс для распознавания рукописных и старопечатных текстов // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер», № 36. Материалы XII конференции АИК. Октябрь 2010 г. – М. : Изд-во Московского университета, 2010. – С. 52-53.
10. Мишланов В.И. [и др.] Нейросетевая система дифференциальной диагностики сердечно-сосудистых заболеваний // Искусственный интеллект: философия, методология, инновации : материалы IV Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Ч. 2, Москва, МИРЭА, 10-12 ноября 2010 г. – М. : Радио и связь, 2010. – С. 63-64.
11. Петров А.М., Ясницкий Л.Н. Возможности создания нейросетевого полиграфа // Вестник Пермского университета. Математика. Информатика. Механика. – 2005. – № 2. – С. 43-47.
12. Семакин И.Г., Ясницкий Л.Н. Искусственный интеллект и школьный курс информатики // Информатика и образование. – 2010. – № 9. – С. 48-54.
13. Черепанов Ф.М. Симулятор нейронных сетей для вузов // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. – 2012. – № 3. – С. 98-105.
14. Черепанов Ф.М., Ясницкий Л.Н. Исследовательский симулятор нейронных сетей // Искусственный интеллект: философия, методология, инновации : материалы Пятой Всероссийской конференции, Москва, МГТУ МИРЭА, 9-11 ноября 2011 г. – М. : Радио и Связь, 2011. – С. 137-139.

15. Черепанов Ф.М., Ясницкий Л.Н. Исследовательский симулятор нейронных сетей // X всероссийская научная конференция «Нейрокомпьютеры и их применение» : тезисы докладов. – М. : МГППУ, 2012. – С. 31.
16. Черепанов Ф.М., Ясницкий Л.Н. Лабораторный практикум по нейросетевым технологиям // Перспективные технологии искусственного интеллекта : сборник трудов Международной научно-практической конференции (Пенза, Пензенский ун-т, Научный Совет РАН по методологии искусственного интеллекта, 1-6 июля 2008 г.) / Пенз. ун-т. – Пенза, 2008. – С. 128-130.
17. Черепанов Ф.М., Ясницкий Л.Н. Лабораторный практикум по нейросетевым технологиям : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009611544. Заявка № 2009610226. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12 марта 2009 г. – М. : Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ), 2009.
18. Черепанов Ф.М., Ясницкий Л.Н. Нейросетевой фильтр для исключения выбросов в статистической информации // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. – 2008. – № 4. – С. 151-155.
19. Черепанов Ф.М., Ясницкий Л.Н. Нейросимулятор // Современные проблемы математики и ее прикладные аспекты : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Пермь, Перм. ун-т, Перм. пед. ун-т, 12 марта 2010 г.) / Перм. ун-т, Перм. пед. ун-т. – Пермь, 2010. – С. 66.
20. Черепанов Ф.М., Ясницкий Л.Н. Симулятор нейронных сетей «Нейросимулятор 1.0» : свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 8756. Зарегистрировано в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 12.07.2007.
21. Черепанов Ф.М., Ясницкий Л.Н. Средства поддержки практического применения нейронных сетей // Актуальные проблемы механики, математики, информатики : сб. тез. Всероссийской научно-практической конф. (Пермь, 12–15 октября 2010 г.) / Перм. гос.ун-т. – Пермь, 2010. – С. 242.
22. Черепанов Ф.М., Ясницкий Л.Н. Формирование компетентности в области искусственного интеллекта // Проблемы формирования информационно-коммуникационной компетентности выпускника университета начала XXI века : материалы Всероссийской научно-практической конференции (Пермь, Перм. ун-т, 13-15 ноября 2007 г.) / Перм. ун-т. – Пермь, 2007. – С. 482-486.

23. Ясницкий Л.Н., Черепанов Ф.М. и др. Пермская научная школа искусственного интеллекта и ее инновационные проекты. – 2-е изд. – М.-Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. – 75 с.
24. Ясницкий Л.Н., Бржевская А.С., Черепанов Ф.М. О возможностях применения методов искусственного интеллекта в сфере туризма // Сервис plus. – 2010. – № 4. – С. 111-115.
25. Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 176 с.
26. Ясницкий Л.Н., Гусев А.Л., Шур П.З. О возможностях применения нейросетевого математического моделирования для выявления целесообразных действий Роспотребнадзора // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. – 2012. – № 3. – С. 49-53.
27. Ясницкий Л.Н., Данилевич Т.В. Современные проблемы науки. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 294 с.
28. Ясницкий Л.Н. [и др.] Нейросетевая система экспресс-диагностики сердечно-сосудистых заболеваний // Пермский медицинский журнал. – 2011. – № 4. – С. 77-86.
29. Ясницкий Л.Н. [и др.] Нейросетевая модель региона для выбора управляющих воздействий в области обеспечения гигиенической безопасности // Информатика и системы управления. – 2011. – № 3 (29). – С. 51-59.
30. Ясницкий Л.Н. Интеллектуальные информационные технологии и системы : учеб.-метод. пособие / Перм. ун-т. – Пермь, 2007. – 271 с.
31. Ясницкий Л.Н. Искусственный интеллект и новые возможности компьютерного моделирования // Вестник Пермского университета. Информационные системы и технологии. – 2005. – № 4. – С. 81-86.
32. Ясницкий Л.Н. Искусственный интеллект. Элективный курс : учебное пособие. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 240 с.
33. Ясницкий Л.Н. О возможностях применения методов искусственного интеллекта в политологии // Вестник Пермского университета. Политология. – 2008. – № 2. – С. 147–155.
34. Ясницкий Л.Н. Пермская научная школа искусственного интеллекта и ее инновационные разработки. – Пермь : Перм. пед. гос. ун-т; Перм. техн. гос. ун-т; Перм. гос. ун-т, 2007. – 36 с.
35. Ясницкий Л.Н., Петров А.М., Сичинава З.И. Сравнительный анализ алгоритмов нейросетевого детектирования лжи // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 1 (13). – С. 64–72.

36. Ясницкий Л.Н., Петров А.М., Сичинава З.И. Технологии построения детектора лжи на основа аппарата искусственных нейронных сетей // Информационные технологии. – 2010. – № 11. – С. 66-70.
37. Ясницкий Л.Н., Порошина А.М., Тавафиев А.Ф. Нейросетевые технологии как инструмент для прогнозирования успешности предпринимательской деятельности // Российское предпринимательство. – 2010. – № 4 (2). – С. 8-13.
38. Ясницкий Л.Н., Киросова А.В., Черепанов Ф.М. О возможностях применения методов искусственного интеллекта в спорте // Вестник спортивной науки. – 2012. – № 5.
39. Ясницкий Л.Н., Сичинава З.И. Нейросетевые алгоритмы анализа поведения респондентов // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. – 2011. – № 10. – С. 59-64.
40. Ясницкий Л.Н., Сичинава З.И., Черепанов Ф.М. Нейросетевой детектор лжи: принципы построения и опыт разработки. – Saarbrucken (Germany) : LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG., 2012. – 115 p.
41. Ясницкий Л.Н., Черепанов Ф.М. Искусственный интеллект. Элективный курс : метод. пособ. по преподаванию. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 216 с.
42. Ясницкий Л.Н., Черепанов Ф.М. О возможностях применения нейросетевых технологий в политологии // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. – 2010. – № 8. – Вып. 4. – С. 47-53.

**Рецензенты:**

Шварц Константин Григорьевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры прикладной математики и информатики, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь.

Ясницкий Леонид Нахимович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной информатики, Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, г. Пермь.