

## **НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

*Л.Н. Ясницкий А.А, Думлер, А.Н. Полещук, К.В. Богданов, Ф.М. Черепанов*

Пермский государственный университет

Пермская государственная медицинская академия им. академика Е.А. Вагнера

Пермский государственный педагогический университет

Группа компаний ИВС, г.Пермь

yasn@psu.ru

### **Введение**

Заболевания сердечно-сосудистой системы, прежде всего хроническая сердечная недостаточность, ишемическая болезнь сердца и артериальная гипертензия, являются основной проблемой здравоохранения экономически развитых стран и будет таковой в течение ближайших 50 лет. В структуре общей смертности населения эти заболевания являются причиной более половины всех случаев.

Одной из причин сложившейся ситуации являются невозможность и нежелание людей проводить раннюю диагностику – тратить свои время и денежные средства на длительные и весьма дорогостоящие обследования.

В арсенале современной медицины есть немало эффективных диагностических средств, однако часть из них инвазивна, опасна для пациента, а часть достаточно сложна в эксплуатации и имеет крайне высокую цену. Большинство этих средств доступны лишь многопрофильным госпиталям и крупным, как правило, коммерческим медицинским центрам и недоступны основной массе населения.

Учитывая масштабы надвигающейся «неинфекционной пандемии» сердечно-сосудистых заболеваний современная медицина, особенно на уровне его первичного звена – терапевтического участка, нуждается в вооружении недорогими, безопасными для пациента, эффективными и надежными инструментальными средствами для своевременного, по возможности, максимально раннего выявления наиболее распространенных форм сердечно-сосудистой патологии. Одним из путей создания такого инструментария является применение нейросетевых технологий.

Первые попытки создания нейросетевых диагностических систем относятся к 40-50-м гг. XX в., т.е. сразу после появления основополагающих работ У. Мак-Калока, У. Питтса, Ф. Розенблатта, заложивших теоретические основы нейросетевых технологий. Однако практическое применение такие системы начали находить только в 1980-90-х гг.

Список областей медицины, в которых начали применяться нейросетевые технологии, чрезвычайно обширен и продолжает расти. Солидные обзоры свидетельствуют о перспективности этого научного направления. Для обучения нейронных сетей привлекаются самые разнообразные данные [1] – анамнез, клинический осмотр, результаты лабораторных тестов и сложных функциональных методов. Тем не менее, точность компьютерной постановки диагнозов редко превышает 70-75%, а до повсеместного применения нейросетевых диагностических систем дело пока не доходит.

Целью настоящей работы является создание демонстрационного прототипа нейросетевой диагностической системы выявления сердечно-сосудистых заболеваний, проведение ее исследований и оптимизации достижения приемлемо высокой точности постановки диагнозов на основании минимального количества входных параметров, для получения которых не требуется применения специализированных медицинских приборов и оборудования.

### **Материалы и методы**

Нейронные сети, как известно [1, 3], во многом заимствуют свою структуру и принципы работы от коры головного мозга. Также как и мозг они обучаются на примерах, взятых из жизни, извлекают из них знания и кодируют эти знания, как и в мозге – в виде сил синаптических межнейронных связей. После обучения и тестирования нейросети становятся математическими моделями рассматриваемых предметных областей. Это значит, что над ними можно ставить виртуальные эксперименты, и в этих экспериментах нейронные сети будут вести себя точно так же, как моделируемая ими предметная область. Можно таким виртуальным способом исследовать предметную область, выявлять закономерности предметной области, решать практические задачи, такие как прогнозирование поведения предметной области (прогнозирование развития заболевания), разработка и оптимизация воздействия на предметную область с целью получения нужного эффекта (излечение больного), диагностика состояния предметной области (диагностика состояния здоровья пациента) и др. [3].

При формировании нейросетевых математических моделей большое значение имеет выбор значимых входных параметров, т.е. тех параметров предметной области, кото-

рые оказывают влияние на результат моделирования. Решение вопроса о том, какие именно симптомы и параметры пациента оказывают решающее влияние на постановку диагноза заболевания сердечно-сосудистой системы не представляется очевидным. Поэтому на начальных стадиях формирования математической модели выбиралось максимально возможное количество параметров, характеризующих пациента, и способных оказать влияние на его диагноз. С другой стороны, преследуя цель создания дешевой и доступной для массового применения системы экспресс-диагностики, во внимание принимались только наиболее доступные данные, для получения которых не требуется применения специальных методов обследования пациента.

Были составлены анкеты, содержащие следующие данные:

x1 – Дата рождения: число+(месяц-1)×30,5.

x2 – Возраст, лет.

x3 – Пол: 1. Мужской, 2. Женский.

x4 – Цвет волос: 1. Блондин, 2. Шатен, 3. Брюнет.

x5 – Группа риска: 1. Мужской пол старше 55 лет, 2. Женский пол старше 65 лет, 3. В противном случае.

x6 – Одышка: 1. Нет, 2. При физ. напряжении, 3. При физ. напряжении, разговоре или покое.

x7 – Приступы удушья по ночам: 1. Да, 2. Нет.

x8 – Сердцебиения: 1. Да, 2. Нет.

x9 – Ощущение пульсации в других частях тела: 1. Да, 2. Нет.

x10 – Боли или дискомфорт в грудной клетке: 1. Есть, 2. Нет.

x11 – Локализация боли: 1. Область сердца или нижней и средней трети грудины, 2. Другие области грудной клетки, 3. Нет болей.

x12 – Периодичность болей: 1. Приступообразные, 2. Постоянные, 3. Нет болей.

x13 – Характер боли: 1. Давящие, сжимающие, жгучие, 2. Колющие, ноющие, режущие, 3. Нет болей.

x14 – Иррадиация болей: 1. В левую руку, левую лопатку, обе лопатки, левое плечо, 2. В правую половину грудной клетки, 3. Нет иррадиации, 4. Нет болей.

x15 – Провокация болей: 1. Физическая и эмоциональная нагрузка, 2. Боль возникает в покое, 3. При длительной неудобной позе, 4. Нет болей.

x16 – Длительность болей: 1. Менее 10-ти минут, 2. Более 10-ти минут, 3. Нет болей.

x17 – Симптомы, сопровождающие боль: 1. Холодный пот, чувство страха, одышка и (или) удушье, 2. Ничем не сопровождаются, 3. Нет болей.

- x18 – Средства для купирования болей: 1. Прекращение физической нагрузки, прием препаратов нитроглицерина, 2. Принятие удобной позы или массаж грудной клетки, прием валидола, корвалола или других противовоспалительных средств, 3. Нет болей.
- x19 – Скорость действия препаратов: 1. До 5-ти минут после приема нитратов, прекращения нагрузки, 2. Дольше, 3. Нет болей.
- x20 – Ощущение «перебоев» в работе сердца: 1. Да, 2. Нет.
- x21 – Отеки: 1. Есть, 2. Нет.
- x22 – Кашель с мокротой с примесью крови: 1. Есть, 2. Нет.
- x23 – Эпизоды головокружения, потери сознания, «мелькания мушек перед глазами», «шум в ушах»: 1. Есть, 2. Нет.
- x24 – Головная боль: 1. Есть, 2. Нет.
- x25 – Чувство тяжести в правом подреберье: 1. Есть, 2. Нет.
- x26 – Чувство жажды: 1. Есть, 2. Нет.
- x27 – Боли в суставах: 1. Есть, 2. Нет.
- x28 – Лихорадка в течение последнего месяца: 1. Есть, 2. Нет.
- x29 – Начало заболевания: 1. Заболевание было выявлено ранее, 2. Заболел остро.
- x30 – Обращение за помощью: 1. Врач вызван посторонними лицами или в общественное место, 2. На службу ГССП (Городскую станцию скорой помощи), 3. К участковому или частнопрактикующему врачу.
- x31 – Заболеванию предшествовало: 1. Физическая или эмоциональная нагрузка, 2. Употребление алкоголя, 3. Воспалительные, инфекционные и вирусные заболевания, 4. Повышение сахара в крови или повышение артериального давления, 5. Ничего.
- x32 – Образование: 1. Начальное, 2. Высшее или среднее специальное.
- x33 – Род деятельности: 1. Физический труд, 2. Умственная работа, 3. Неработающий.
- x34 – Ночные смены, командировки: 1. Есть, 2. Нет.
- x35 – Курение: 1. Регулярное, 2. Нерегулярное, 3. Не курит.
- x36 – Употребление алкоголя: 1. Запойное пьянство, 2. Регулярное, 3. Эпизодическое или полный отказ.
- x37 – Злоупотребление чаем, кофе: 1. Да, 2. Нет.
- x38 – Употребление наркотиков: 1. Внутренний прием наркотиков, 2. Наружный прием наркотиков, 3. Редкое употребление, 4. Полное неупотребление.
- x39 – Соблюдение гипохолестеринемическую диету: 1. Нет, 2. Да.

- x40 – Занятие физической культурой: 1. Профессиональный спортсмен в силовых видах спорта, 2. Занимается физзарядкой или немного легким спортом, 3. Спортом и физической зарядкой не занимается.
- x41 – Наличие у кровных родственников заболеваний ССС: 1. Есть, 2. Нет.
- x42 – Наличие у пациента(или кровных родственников) гипертонической болезни:  
1. Да, 2. Нет.
- x43 – Наличие у пациента (или кровных родственников) сахарного диабета:  
1. Да, 2. Нет.
- x44 – Перенесено острое расстройство мозгового кровообращения в анамнезе:  
1. Да, 2. Нет.
- x45 – Перенесены кардиохирургические вмешательства: 1. Да, 2. Нет.
- x46 – Наличие варикозной болезни, тромбоза: 1. Да, 2. Нет.
- x47 – Выражение лица: 1. Спокойное, возбужденное, 2. Страдальческое, маскообразное.
- x48 – Телосложение: 1. Нормостеническое, 2. Гиперстеническое, 3. Астеническое.
- x49 – Рост(м).
- x50 – Вес(кг).
- x51 – Индекс массы тела (ИМТ).  $ИМТ = \frac{Вес(кг)}{Рост^2(м)}$ .
- x52 – Наличие ожирения по абдоминальному типу: 1. Есть, 2. Нет.
- x53 – Положение в постели: 1. Вынужденное сидячее, 2. Положение обычное.
- x54 – Окраска кожных покровов и видимых слизистых: 1. Кожа бледная, акроцианоз, диффузный цианоз, гиперемия лица, желтуха, 2. Кожа бледно-розовая.
- x55 – Пульсация сонных артерий: 1. Есть, 2. Нет.
- x56 – Набухание яремных вен: 1. Есть, 2. Нет.
- x57 – Отеки: 1. Генерализованные отеки и/или отеки стопы, голени, 2. Нет отеков.
- x58 – Пальпация пульса: 1. Неритмичный пульс, 2. Ритмичный пульс.
- x59 – Частота пульса (удары в минуту).
- x60 – Перкуссия сердца: 1. Граница сердца расширена влево, 2. Не расширен.
- x61 – Наличие шумов в сердце: 1. Есть, 2. Нет.
- x62 – Патологические 3-х членные ритмы: 1. Есть, 2. Нет.
- x63 – Неритмичные тоны сердца: 1. Есть, 2. Нет.
- x64 – Ослабление 1 тона на верхушке: 1. Есть, 2. Нет.
- x65 – Акценты второго тона на основании: 1. Есть, 2. Нет.
- x66 – Расщепление (раздвоение) тонов сердца: 1. Есть, 2. Нет.
- x67 – Нормальная аускультативная картина: 1. Да, 2. Нет.

x68 – Аускультация легких: 1. Влажные хрипы над всей поверхностью легких, 2. Влажные незвучные мелкопузырчатые хрипы в нижних долях, 3. Жесткое везикулярное дыхание, 4. Нормальное дыхание.

x69 – Пальпация печени: 1. Увеличение печени есть, 2. Нет.

x70 – Тонометрия АД. Систолическое давление (мм.рт.ст).

x71 – Тонометрия АД. Диастолическое давление (мм.рт.ст).

В анкете предусматривались девять возможных диагнозов заболеваний сердечно-сосудистой системы:  $y_1$  – ишемическая болезнь сердца;  $y_2$  – инфаркт миокарда;  $y_3$  – стенокардия стабильная;  $y_4$  – стенокардия нестабильная;  $y_5$  – аритмии и блокады сердца;  $y_6$  – хроническая сердечная недостаточность;  $y_7$  – гипертоническая болезнь;  $y_8$  – экстрасистолия;  $y_9$  – мерцательная аритмия.

Врач в каждом конкретном случае присваивал вероятность наличия заболевания у пациента по шкале от 0 до 100 баллов. Причем анкетированию подвергались больные, у которых диагноз был подтвержден четырьмя критериями: типичная клиническая картина; ЭКГ – диагностика; лабораторные тесты; коронарография.

Таким образом в первоначальном исполнении нейронная сеть имела 71 входных нейронов для ввода данных о пациенте и его симптомов заболевания и 9 выходных нейронов для вывода диагноза пациента (см. рис. 1).

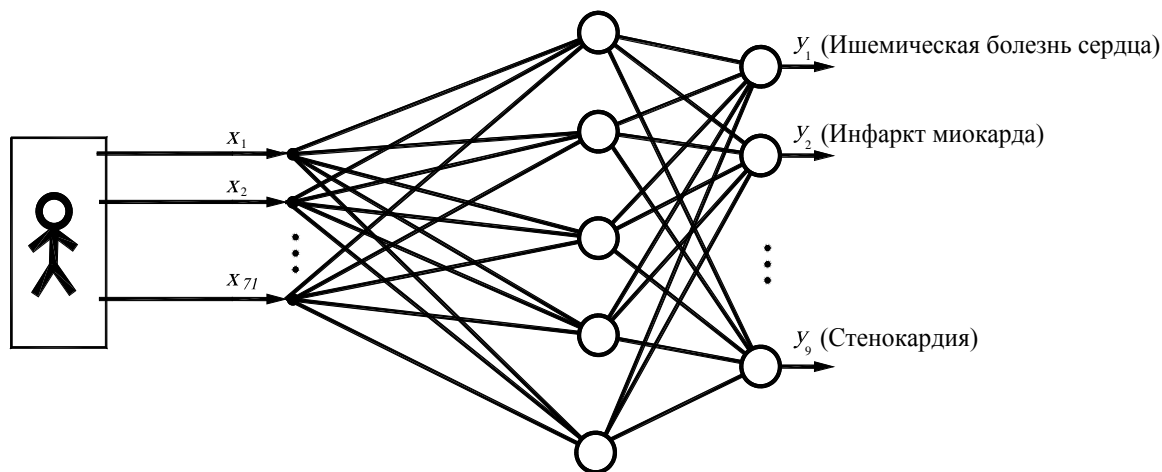


Рис. 1. Схема работы нейросетевой диагностической системы

Всего было заполнено и обработано 116 анкет, причем анкетированию подвергались не только кардиологические больные, но и статисты, у которых симптомы заболевания системы кровообращения отсутствовали. Из всего множества анкет были сформированы множества примеров для обучения и тестирования нейронной сети. Множество тестирующих примеров составляло 10% от обучающего. Проектирование, обучение, тести-

рование нейронной сети и виртуальные эксперименты над нейросетевой математической моделью выполнялись с помощью нейропакета [2].

Приведенная на рис.1 схема является классической и используется во многих нейросетевых диагностических системах [1]. Нами был опробован и успешно применен прием, позволивший увеличить точность постановки диагнозов в среднем на 5 – 10%. Суть приема заключалась в том, что для каждого диагноза подбиралась своя нейронная сеть с одним выходным нейроном. Таким образом, в наших экспериментах участвовало 9 нейронных сетей. Оптимизация нейронных сетей привела к тому, что в окончательном варианте они отличались своей архитектурой, т.е. различным количеством входных нейронов, скрытых слоев и количеством нейронов в скрытых слоях, а также типами активационных функций [3]. Кроме того, нейронные сети отличались значимостью входных параметров, т.е. для постановки одного диагноза важное значение имел один комплекс симптомов, а для постановки другого диагноза – другой. Это в конечном итоге позволило избавиться от незначимых параметров, оставив для каждой нейронной сети наиболее важные входные параметры, что также привело к повышению точности диагностической системы.

### Результаты исследования, обсуждение и выводы

Каждая из нейронных сетей, после обучения и оптимизации, подвергалась тестированию на примерах, которые не были задействованы в обучении. Наименьшую среднеквадратичную погрешность между фактическим диагнозом и прогнозом сети  $\varepsilon = 3\%$  показала сеть, ставящая диагноз «Ишемическая болезнь сердца», наихудший результат  $\varepsilon = 45\%$  показала сеть, ставящая диагноз «Инфаркт миокарда». Гистограммы, графически показывающие соотношение между фактическими и прогнозными значениями диагнозов для обоих крайних случаев, приведены на рис. 1 а, б. Данные о погрешности постановки диагнозов всеми нейронными сетями сведены в табл. 1.

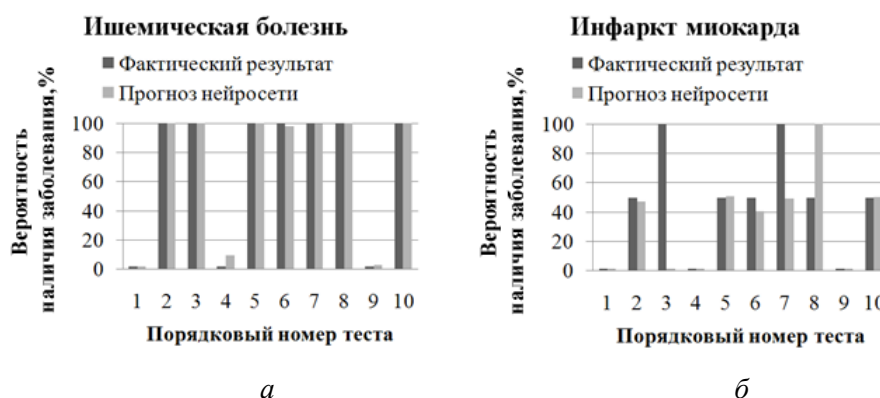


Рис. 1. Соотношение фактических и прогнозных диагнозов заболеваний для десяти тестовых примеров (а, б)

Таблица 1

**Среднеквадратичная погрешность постановки нейронными сетями диагнозов сердечно-сосудистых заболеваний**

Диагноз	Среднеквадратичная погрешность, %.
Ишемическая болезнь сердца	3
Хроническая сердечная недостаточность	8
Стенокардия стабильная	21
Мерцательная аритмия	30
Аритмия и блокады сердца	32
Экстрасистолия	37
Гипертоническая болезнь	39
Стенокардия нестабильная	40
Инфаркт миокарда	45

После того, как адекватность математической нейросетевой модели установлена, ее можно использовать для выявления закономерностей предметной области. На рис. 2 а, б приведены гистограммы, показывающие значимость, т.е. степень влияния входных параметров на постановку диагнозов. Как видно из гистограмм, на постановку диагноза «Ишемическая болезнь сердца» наибольшее влияние имеют такие симптомы как  $x_{10}$  – боли или дискомфорт в грудной клетке,  $x_{13}$  – характер болей,  $x_{12}$  – периодичность болей,  $x_{11}$  – локализация боли и т.д. Наименьшее значение при постановке этого диагноза имеют:  $x_{34}$  – ночные смены и командировки,  $x_4$  – цвет волос,  $x_{61}$  – наличие шумов в сердце,  $x_{62}$  – патологические 3-х членные ритмы и т.д.





Рис. 2. Значимости параметров при постановке диагнозов:

«Ишемическая болезнь сердца» (а), «Инфаркт миокарда» (б)

Представляет интерес проведения виртуальных экспериментов с математическими моделями исследуемой предметной области. На рис.3 а, б приведены примеры «виртуального излечения» больных ишемической болезнью сердца при последовательном исключе-

нии симптомов заболевания. Как видно из рисунков, 37-летний больной легче поддается «виртуальному излечению», чем 58-летний.

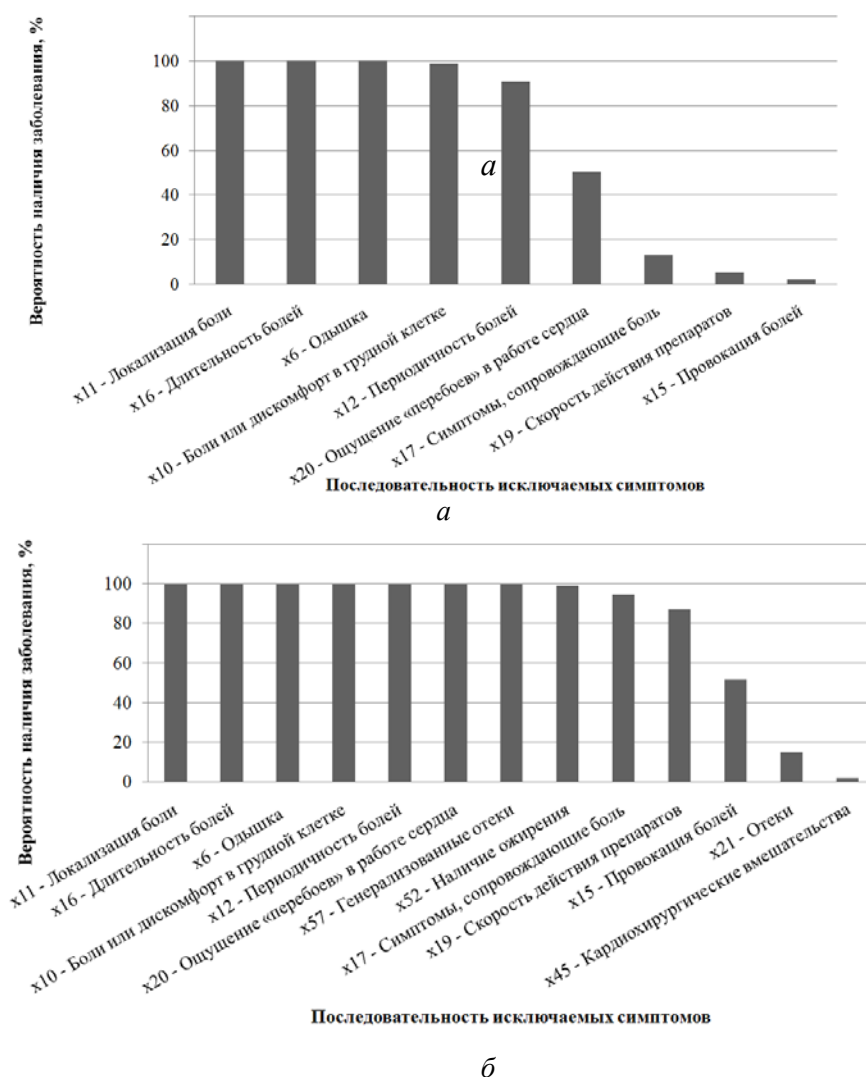


Рис. 3. «Виртуальное излечение» больных ишемической болезнью сердца, отличающихся возрастом (*а* – больному 37 лет, *б* – 58 лет), при последовательном исключении симптомов заболевания

С целью дальнейшего упрощения разработанной нейросетевой диагностической системы и приведения ее к виду, доступному для широкого использования, из входных были исключены следующие параметры: телосложение; индекс массы тела; наличие ожирения по абдоминальному типу; положение в постели; окраска кожных покровов и видимых слизистых; пульсация сонных артерий; набухание яремных вен; отеки; перкуссия сердца; наличие шумов в сердце; патологические 3-х членные ритмы; неритмичные тоны сердца; ослабление 1 тона на верхушке; акценты второго тона на основании; расщепление (раздвоение) тонов сердца; нормальная аускультативная картина; аускультация легких;

пальпация печени. Тестовые испытания такой системы на примерах, не использовавшихся в обучении, показали погрешности постановки диагнозов, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

**Среднеквадратичная погрешность постановки упрощенными нейронными сетями диагнозов заболеваний сердечно-сосудистой системы**

Диагноз	Среднеквадратичная погрешность, %.
Ишемическая болезнь сердца	0,53
Хроническая сердечная недостаточность	24
Стенокардия стабильная	28
Мерцательная аритмия	28
Аритмия и блокады сердца	29
Гипертоническая болезнь	37
Стенокардия нестабильная	40
Инфаркт миокарда	43
Экстрасистолия	56

В настоящее время упрощенные нейросети объединены в единую компьютерную диагностическую систему, снабженную пользовательским интерфейсом, делающую ее пригодной для практического использования: для консультации врачей, работающих, например, в сельской местности, для консультаций семейных врачей, для скриннинговых профилактических проверок состояния здоровья широких масс населения а также для самоконтроля пациентами своего состояния здоровья.

Итак, разработан демонстрационный прототип нейросетевой математической модели, который, в пределах указанных в табл. 2 погрешностей, адекватен своей предметной области, а значит может быть использован для выявления закономерностей этой области медицины, в т.ч. и таких, которые не являются общеизвестными.

Такие исследования можно производить путем выполнения виртуальных экспериментов. Например, поставив с помощью диагностической системы какому-либо пациенту диагноз, можно попробовать поварьировать его входные параметры. Например, увеличив возраст пациента на 10 или 20 лет, можно спрогнозировать, как будут развиваться его заболевания в будущем. Можно попытаться улучшить прогнозные диагнозы пациента путем коррекции некоторых входных параметров, например, можно смоделировать изменение образа жизни пациента: отказаться от злоупотреблений кофе, курением, употребления

наркотиков, изменить диету, заняться спортом, сбросить вес, уменьшить артериальное давление и т.д. В результате наблюдения за соответствующими изменениями-откликами выходного вектора диагностической системы, можно выполнить прогнозирование состояния здоровья пациента в зависимости от изменяемых входных параметров и разработать на основании таких прогнозов полезные рекомендации: оптимальный образ жизни и курс лечения.

С другой стороны, пациент, наблюдавший на экране компьютера наглядное графическое изображение прогнозов состояния своего здоровья, будет более серьезно относиться к соблюдению врачебных рекомендаций по здоровому образу жизни и медикаментозной терапии.

Кроме того, разработанный прототип диагностической системы позволяет на количественном уровне исследовать некоторые закономерности предметной области. Например, исследование влияния употребления алкоголя на склонность к заболеваниям сердечно-сосудистой системы показало, что этот эффект зависит от таких параметров пациента как рост, индекс массы, возраст, пол, курение, занятия спортом и др., и в каждом конкретном случае он может проявляться как с отрицательным, так и с положительным результатом.

Демонстрационный прототип диагностической системы размещен на сайте Пермской научной школы искусственного интеллекта [www.PermAI.ru](http://www.PermAI.ru).

Авторы выражают благодарность доктору медицинских наук, профессору М.А. Зубареву и доктору медицинских наук профессору В.Ю. Мишланову за ценные критические замечания и рекомендации.

### **Библиографический список**

1. *Россиев, Д. А.* Медицинская нейроинформатика / *Д. А. Россиев* // Нейроинформатика. – Новосибирск: Наука СО РАН, 1998.
2. *Черепанов, Ф.М.* Лабораторный практикум по нейросетевым технологиям / *Ф.М.Черепанов, Л.Н.Ясницкий*. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009611544. Заявка № 2009610226. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12 марта 2009г. – М: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ), 2009.
3. *Ясницкий, Л.Н.* Современные проблемы науки / *Л.Н. Ясницкий, Т.В. Данилевич*. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.