

DOI: 10.15593/2499-9873/2018.3.08

УДК 004.89; 616.34

Л.Н. Ясницкий¹, Ф.М. Черепанов²

¹Пермский государственный национальный
исследовательский университет, Пермь, Россия

²Пермский государственный гуманитарно-педагогический
университет, Пермь, Россия

НЕЙРОЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Предложены несколько вариантов создания нейроэкспертных систем, предназначенных для диагностики, прогнозирования и управления возникновением и развитием сердечно-сосудистых заболеваний человека. Возможности интеллектуальных систем продемонстрированы на конкретных примерах прогнозирования и управления состоянием здоровья пациентов за счет изменения их образа жизни и приема некоторых лекарственных препаратов. Как показали вычислительные эксперименты, последствия управляющих воздействий зависят от половозрастных характеристик пациентов и их текущего состояния здоровья.

Ключевые слова: моделирование, диагностика, прогнозирование, управление, оптимизация, нейронная сеть, обучение, искусственный интеллект.

L.N. Yasnitsky¹, F.M. Cherepanov²

¹Perm State University, Perm, Russian Federation

²Perm State Humanitarian-Pedagogical University, Perm, Russian Federation

NEURO-EXPERT SYSTEM OF DIAGNOSTICS, FORECASTING AND RISK MANAGEMENT CARDIOVASCULAR DISEASES

Proposed several options for creating neuroexpert systems designed for diagnosis, prognosis and management the emergence and development of cardiovascular diseases. The capabilities of intelligent systems have been demonstrated by specific examples of predicting and managing the health status of patients by changing their lifestyle and taking certain medications. As shown by computational experiments, the effects of control actions depend on the sex and age characteristics of patients and their current health.

Keywords: modeling, diagnostics, forecasting, management, optimization, neural network, training, artificial intelligence.

Введение

В настоящее время наблюдается лавинообразный рост публикаций, посвященных применению методов искусственного интеллекта для решения задач диагностики, оптимизации, прогнозирования и управления процессами и явлениями, причем практически во всех областях знаний.

В медицинской науке широко применяются нейронные сети, главным образом для диагностики заболеваний. Публикуются солидные обзоры [1–4], посвященные перечислению успехов, анализу возможностей и перспектив применения нейронных сетей в медицине. Хорошие результаты показали модели искусственных нейронных сетей для диагностики сахарного диабета [5, 6], психических расстройств [7], рака предстательной железы [8], рака поджелудочной железы [9], рака легких [10], рака молочной железы [2, 3], лейкемии [11], гепатита Б [12], инсульта [13], заболевания почек [14, 15], болезни Паркинсона [16] и Хантингтона [17], для распознавания патологий в кровеносных сосудах [18], диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы [14, 19–23].

Во многих из этих работ, например [22], нейросетевые диагностические системы рекомендуются для поддержки клинических решений врача, в [10] – в качестве инструмента доклинической диагностики. В [15] отмечается, что нейросетевые системы позволяют сократить время, необходимое для диагностики, в [12] указывается, что применение нейросетей позволяет оптимизировать диагностический процесс и избегать ошибочных диагнозов.

Следует отметить, что во многих упомянутых публикациях помимо термина «диагностика» иногда используется термин «прогноз», однако понимаемый врачами лишь в узком смысле этого слова – как «исход заболевания» (тот же диагноз), а не процесс, развивающийся во времени. Так, в работе [24] сообщается о применении нейронных сетей для прогнозирования риска возникновения остеопороза, в работе [25] – для прогнозирования выживаемости при трансплантации печени. Авторы работы [4] призывают исследователей применять методы искусственного интеллекта не только для диагностики, но и для оптимизации курсов лечения пациентов, не объясняя, однако, как это нужно делать, и не приводя примеров такой оптимизации. В работе [22] сообщается о разработке нейронной сети, прогнозирующей острый инфаркт миокарда в течение двух недель. В статье [26] сообщается о прогнозировании возможности развития у пациентов в будущем таких патологий, как депрессия, метаболический синдром, инфаркт миокарда, в том числе с зубцом Q, остеопороз. При этом не уточняются сроки наступления «будущего» и то, как на это «будущее» можно влиять. В работе [29] нейронные сети применены для выбора управляющих воздействий на среду обитания с целью снижения смертности и заболеваемости населения регионов.

Ни в одной из приведенных работ нам не удалось найти упоминаний о возможности применения методов искусственного интеллекта для решения задач *управления* возникновением и развитием заболеваний.

По-видимому, впервые возможности нейронных сетей для прогнозирования развития заболеваний во времени на количественном уровне, а также для управления процессом развития заболеваний были показаны в ранних публикациях авторов настоящей статьи [27, 28]. Представляемые ниже результаты являются продолжением этих исследований.

1. Методика моделирования

Сценарное прогнозирование зарождения и развития заболеваний во времени стандартным методом замораживания входных параметров (т.е. методом вариации входных параметров) имеет определенные проблемы. Дело в том, что в медицине входные параметры моделируемого объекта имеют между собой сложные корреляционные взаимозависимости, и при изменении одного из входных параметров другие параметры тоже должны быть изменены согласно этим зависимостям. Например, с возрастом появляются новые симптомы, изменения на электрокардиограмме, изменения результатов эхокардиографии и биохимических анализов и т.д. Но такие зависимости, как правило, заранее неизвестны.

Первым алгоритмом, предложенным авторами настоящей статьи в [27, 28], способным преодолеть указанную проблему, был алгоритм, основанный на идее объединения двух технологий искусственного интеллекта – нейронных сетей и экспертных систем. В качестве источника экспертных знаний была использована Европейская шкала SCORE, предназначенная для расчета риска смерти от сердечно-сосудистого заболевания в будущие периоды жизни пациента.

Анализ усредненных данных этой шкалы показал, что за каждый пятилетний период от 50 до 65 лет риск по шкале SCORE для среднестатистического пациента увеличивается в приблизительно в $\lambda \approx 1,6$ раза. Именно это экспертное знание мы предлагаем использовать для параметрической идентификации нейросетевой математической модели. При этом мы введем гипотезу о том, что между рисками по шкале SCORE и степенью развития заболевания, рассчитываемыми с помощью нашей математической модели, должна быть прямопропорциональная зависимость.

Допустим, что какому-либо пациенту нейросетевая математическая модель оценила степень развития какого-либо сердечно-сосудистого за-

болевания: y_0 . Требуется выполнить прогноз этой величины на пять лет вперед и исследовать, как будет изменяться этот прогноз с изменением образа и условий жизни пациента.

Увеличив на 5 лет входной параметр нейросетевой модели x_0 , кодирующий «Возраст пациента», и выполнив расчет с ИНС, получаем новое прогнозное значение степени развития заболевания, которое обозначим через y . Тогда $\mu = \frac{y}{y_0}$ – коэффициент, показывающий, во сколько раз увеличилась степень развития сердечно-сосудистого заболевания рассматриваемого пациента за прогнозируемый пятилетний период.

Заметим, что данный прогноз выполнен с помощью нейросетевой модели при варьировании одного только возраста пациента. При этом все остальные параметры модели сохранены неизменными. Поэтому при таком прогнозировании не учитывается возможность появления с возрастом пациента других симптомов и заболеваний.

Для того чтобы учесть указанные возрастные изменения, предлагается выполнить корректировку прогнозного значения с помощью формулы

$$z = y \frac{\lambda}{\mu}, \quad (1)$$

где z – откорректированное прогнозное значение степени развития заболевания рассматриваемого пациента.

Далее выполняется исследование влияния изменения образа и условий жизни пациента на его прогнозируемую на пять лет вперед степень развития заболевания, т.е. на величину z . Варьируется какой-либо входной параметр модели x_1 , например кодирующий «Вес пациента», с помощью нейросетевой модели рассчитывается соответствующее этой вариации значение степени развития заболевания y_1 , которое затем корректируется по той же формуле (1): $z_1 = y_1 \frac{\lambda}{\mu}$. После этого

варьируется какой-либо другой входной параметр нейросетевой модели x_2 , кодирующий, например, «Курение», и вычисляется соответствующее этой вариации значение степени развития заболевания y_2 , которое затем корректируется по формуле (1), и т.д.

В результате получаем оценку состояния здоровья пациента: y_0 – на текущий день; z – на пять лет вперед при условии неизменного об-

раза и условий жизни пациента; z_1 – на пять лет вперед при варьировании входного параметра x_1 ; z_2 – на пять лет вперед при варьировании входного параметра x_2 ; и т.д.

Уточненные значения коэффициента α , рассчитанные с помощью шкалы SCORE, составляют: при прогнозировании на пять лет $\lambda = 1,6$; на десять лет – $\lambda = 2,7$; на пятнадцать лет – $\lambda = 4,3$.

Погружая обученную ИНС в интерфейс, автоматически выполняющий пункты приведенного выше алгоритма параметрической идентификации нейросетевой математической модели, получаем гибридную диагностико-прогностическую нейроэкспертную систему. Гибридной эту систему называем потому, что при ее создании использованы две технологии искусственного интеллекта: технология нейронных сетей и технология экспертных систем. В нее заложены как нейросетевые знания, извлеченные из медицинской практики, так и экспертные знания, заложенные в SCORE.

По-нашему мнению, предложенный в [27, 28] алгоритм объединения двух стратегий искусственного интеллекта соответствует психологическим представлениям о том, как принимает решения сам человек. Сначала его решения формируются под влиянием интуиции, эмоций, накопленного опыта. Согласно основным гипотезам нейроинформатики (Мак-Каллок, Питтс, Розенблатт) эти предварительные эмоционально-интуитивные решения вырабатываются как результат вычислительной деятельности нейронов биологической нейронной сети человека. Однако затем эти предварительные решения (в том числе диагнозы и прогнозы) корректируются, и в окончательном виде решения принимаются человеком уже после обдумывания, т.е. с использованием экспертных знаний – правил и законов, известных человеку о предметной области или среде, в которой он живет.

Недостаток данного алгоритма состоит в том, что в общем случае он не может быть применен к другим нозологическим формам, так как шкала SCORE разработана и верифицирована только для ишемической болезни сердца. Для других заболеваний подобных разработок, к сожалению, нет, и алгоритм прогнозирования написан быть не может.

Для устранения этого недостатка в настоящей работе предлагается использовать идею метода скользящего окна, который обычно применяется при прогнозировании временных рядов. Однако для применения этого метода необходимо иметь множество наблюдений за пове-

дением объекта во времени. В нашем случае такими наблюдениями являются данные о повторных посещениях больным лечащего врача в случае диагностирования какого-либо заболевания. Наличие таких данных способствует рекомендации повторного посещения врача с некоторым периодом для проведения наблюдения и предотвращения развития заболевания, назовем эти данные историческими.

Суть метода заключается в следующем: пусть имеется история наблюдения за одним пациентом на протяжении T временных интервалов. Каждое такое наблюдение представляет собой пару векторов, аналогичных тем, что использовались для обучения и тестирования нейронной сети в предыдущем алгоритме (\bar{x}_t, \bar{d}_t) , где:

\bar{x}_t – входные параметры за t -й временной интервал;

\bar{d}_t – выходные параметры за t -й временной интервал; $t \in [1, T]$.

Сформируем из них примеры обучающего множества, беря в качестве входных параметров значения показателей пациента \bar{x}_t , а в качестве выходных значений – диагнозы за следующий год \bar{d}_{t+1} . Таким образом мы получим следующее множество из $T-1$ элементов: $[(\bar{x}_1, \bar{d}_2), (\bar{x}_2, \bar{d}_3), \dots, (\bar{x}_{t-1}, \bar{d}_t), \dots, (\bar{x}_{T-1}, \bar{d}_T)]$ на основе истории одного пациента. Повторив эту операцию для всех данных, получим множество примеров, которое будет использоваться для обучения и тестирования нейросетевой модели, предназначенной для прогнозирования развития заболевания на один временной интервал вперед.

С получением модели, способной успешно прогнозировать развитие заболеваний становится возможным разработать модель для подбора рекомендаций, т.е. для решения задачи управления заболеваниями.

Ранее для этого в работах авторов [27, 28] применялся метод вариации отдельных параметров, на которые возможно оказать активное влияние, и в дальнейшем использовалась нейросетевая модель для проверки того, как изменится диагноз по сравнению с первоначальным. Этот метод показал свою жизнеспособность, а также стал инструментом выявления новых медицинских знаний, однако он не учитывает динамику изменения образа жизни и течения заболевания.

Для получения нейросетевой модели, учитывающей динамику развития заболеваний, необходимо дополнительно иметь выборку данных по пациентам, включающую исторические данные. Сформируем

из них примеры обучающего множества, беря в качестве входных параметров значения всех текущих показателей пациента за текущий временной интервал \bar{x}_t , значения фактических диагнозов за тот же период \bar{d}_t и тех его показателей за следующий временной интервал, на которые возможно повлиять \bar{x}'_{t+1} , а в качестве выходных значений возьмем значения диагнозов за следующий временной интервал \bar{d}_{t+1} . Таким образом получаем следующее множество из $T - 1$ элементов:

$$\left[(\bar{x}_1 \bar{d}_1 \bar{x}'_2, \bar{d}_2), (\bar{x}_2 \bar{d}_2 \bar{x}'_3, \bar{d}_3), \dots, (\bar{x}_{t-1} \bar{d}_{t-1} \bar{x}'_t, \bar{d}_t), \dots, (\bar{x}_{T-1} \bar{d}_{T-1} \bar{x}'_T, \bar{d}_T) \right]$$

на основе истории одного пациента. Повторив эту операцию для всех данных, получим множество примеров, которое будем использовать для обучения и тестирования нейросетевой модели, предназначенной для получения рекомендаций. Таким образом, по сравнению с предыдущей моделью на вход были добавлены значения фактических диагнозов за тот же период \bar{d}_t , что позволило учесть в модели текущее состояние пациента, так как от него зависит развитие заболевания и, соответственно, диагноз. Также от текущего состояния зависит то, какой эффект окажут на пациента те или иные рекомендации или изменение образа жизни. Кроме того, в модель добавлены входы \bar{x}'_{t+1} , которые задают те рекомендации, которые были выданы пациенту и вследствие которых изменились его диагнозы \bar{d}_{t+1} .

Обучив нейронную сеть на таком обучающем множестве, получим нейросетевую модель, которая учитывает изначальное состояние пациента, включая диагнозы, выставленные на данный момент, а также предполагаемое лечение и изменение образа жизни, при постановке диагноза на следующий временной интервал. Процедура выдачи рекомендаций с использованием данной нейросетевой модели может быть описана следующим образом:

1. Ввести и зафиксировать текущие показатели пациента и характеристики его образа жизни \bar{x}_t .
2. Ввести и зафиксировать текущие диагнозы \bar{d}_t .
3. Ввести рекомендации по образу жизни и лечению на следующий временной промежуток \bar{x}'_{t+1} .
4. Подать введенные значения на соответствующие входы нейросетевой модели.

5. Получить на выходе нейросетевой модели прогноз по диагнозам на следующий временной промежуток \bar{y}_{t+1} .

6. Повторить шаги 3–4 до получения рекомендаций, с наилучшим прогнозом по диагнозам.

Данный алгоритм использует не только вариацию различных входных параметров, но и информацию о текущем образе жизни и заболеваниях, что также может влиять на достоверность выдаваемых результатов. Благодаря этому применение метода с использованием исторических данных с учетом текущего состояния пациента позволяет в среднем снизить погрешность моделирования на 5–7 %. Однако необходимо отметить, что его применение связано со значительно более высокой трудоемкостью создания системы.

2. Виртуальные эксперименты по управлению развитием заболеваний

Виртуальные компьютерные эксперименты по управлению появлением и развитием заболеваний выполнялись на математических моделях трех пациентов:

Пациент 1. Мужчина в возрасте 50 лет (родился 09.05.1967 г.), рост 177 см, вес 80 кг, группа крови вторая, резус-фактор положительный, курит, физзарядкой не занимается, есть заболевания сердца у кровных родственников, гипертонической болезни нет, сахарного диабета нет, нарушений мозгового кровообращения не было, ранее диагноз болезней сердца не ставился, кардиохирургических вмешательств не было, имеется тромбоз вен, болей в грудной клетке нет, жалуется на одышку при физическом напряжении, приступов удушья по ночам нет, сердцебиения бывают, ощущений перебоев в работе сердца нет, отеков конечностей и лица нет, на головокружения и головные боли не жалуется.

Пациент 2. Женщина в возрасте 39 лет (родилась 20.11.1977 г.), рост 160 см, вес 60 кг, группа крови первая, резус-фактор положительный, курит, физзарядкой не занимается, заболеваний сердца у кровных родственников нет, гипертонической болезни нет, сахарного диабета нет, нарушений мозгового кровообращения не было, ранее диагноз болезней сердца не ставили, кардиохирургических вмешательств не было, варикозной болезни или тромбоза вен нет, болей в грудной клетке нет, одышки нет, приступов удушья по ночам нет, сердцебиений нет, ощущения перебоев в работе сердца нет, имеются отеки лица жалуется на частые головокружения и головную боль.

Пациент 3. Мужчина в возрасте 50 лет (родился 15.08.1966 г.), рост 180 см, вес 75 кг группа крови четвертая, резус-фактор отрицательный, курит, физзарядкой не занимается, есть заболевания сердца у кровных родственников, гипертонической болезни нет, сахарного диабета нет, нарушений мозгового кровообращения не было, ранее диагнозов болезней сердца ставился, кардиохирургических вмешательств не было, имеется тромбоз вен, болей в грудной клетке нет, жалуется на одышку в покое, приступов удушья по ночам нет, сердцебиений нет, имеются ощущения перебоев в работе сердца, имеются отеки конечностей, жалуется на частые головокружения и головную боль.

После ввода параметров пациентов нейросетевая система поставила диагнозы, представленные в графической форме на рис. 1.

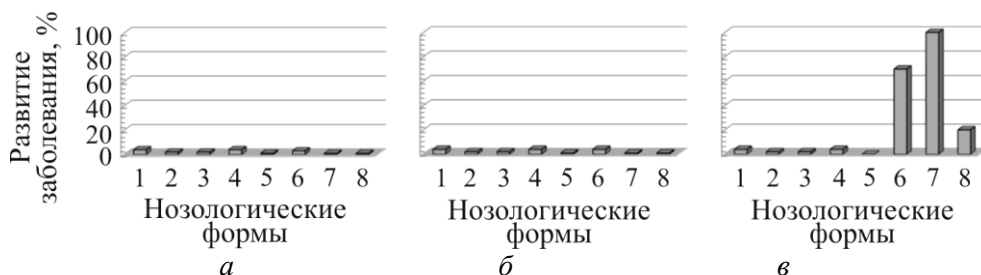


Рис. 1. Степени развития заболеваний, диагностированные системой: а – пациенту № 1; б – пациенту № 2; в – пациенту № 3 (авторские результаты)

Здесь и в дальнейшем рассмотрены следующие риски заболеваний: 1 – инфаркта миокарда, 2 – стенокардии стабильной, 3 – стенокардии нестабильной, 4 – ишемической болезни сердца, 5 – гипертонической болезни, 6 – аритмии и блокад сердца, 7 – хронической сердечной недостаточности (ХСН), 8 – острой сердечной недостаточности (ОСН).

Как видно из рис. 1, у пациентов № 1 и № 2 система не выявила рисков сердечно-сосудистых заболеваний, тогда как у пациента № 3 система поставила диагноз: аритмия и блокады сердца – 70 %, ХСН – 100 %, ОСН – 20 %.

На рис. 2 в аналогичной форме приведены результаты сценарного прогнозирования развития заболеваний при условии, что возраст пациентов увеличился на 30 лет, а вес – на 20 кг. Все остальные параметры пациентов сохранены неизменными. Как видно из рис. 2, у пациента № 1 система прогнозировала появление риска аритмии и блокад сердца –

70 % и риска ХСН – 100 %. У пациента № 2 риски сердечно-сосудистых заболеваний не обнаружались, а у пациента № 3 система прогнозировала появление риска аритмии и блокад сердца – 70 %, риска ХСН – 100 % и риска ОСН – 60 %.

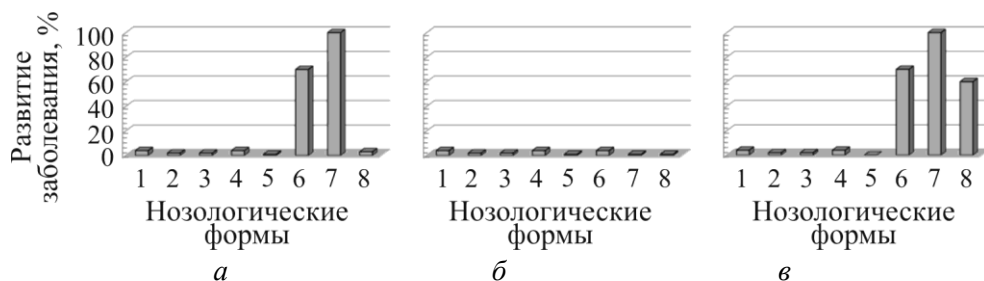


Рис. 2. То же самое при условии, что возраст пациентов увеличился на 30 лет, а вес увеличился на 20 кг (авторские результаты)

На рис. 3 приведены результаты сценарного прогнозирования развития сердечно-сосудистых заболеваний при условии, что помимо увеличения возраста и веса пациенты заболели сахарным диабетом. Как видно из рис. 3, у пациента № 1 заболевание сахарным диабетом стимулировало появление риска заболевания стенокардии стабильной на 98 %, стенокардии нестабильной – на 91 %, ишемической болезни сердца – на 98 %. Риски аритмии и блокады сердца, а также ХСН остались на прежнем высоком уровне – 70 и 100 % соответственно. У пациента № 2 диабет не вызвал появления каких-либо рисков заболеваний сердечно-сосудистой системы, тогда как у пациента № 3 диабет привел к возрастанию риска ОСН до 75 %.

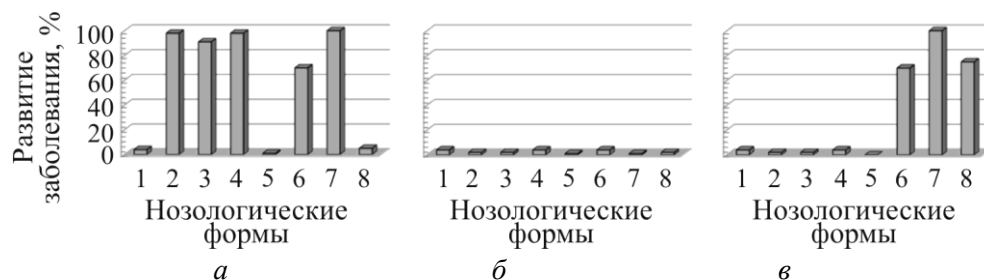


Рис. 3. То же самое при условии, что помимо увеличения возраста и веса пациенты приобрели сахарный диабет (авторские результаты)

На рис. 4 результаты прогнозирования отличаются тем, что у пациентов виртуально убрали диагноз сахарный диабет, а вместо него добавили гипертоническую болезнь. Данный прогноз соответствует тому, что пациентам во время диагностики (30 лет назад) дали рекомендацию воздерживаться от сладкого, а за артериальным давлением они не следили. Как видно из рис. 4, добавление гипертонической болезни вместо сахарного диабета у пациента № 1 картину сценарного прогнозирования не изменило, у пациента № 2 добавился риск ХСН 26 %, а у пациента № 3 снизился риск ОСН с 75 до 30 %.

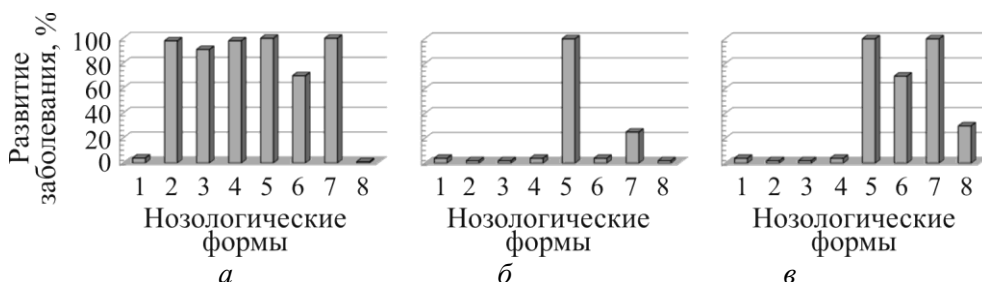


Рис. 4. То же самое при условии, что вместо сахарного диабета пациенты приобрели гипертоническую болезнь (авторские результаты)

На рис. 5 результаты сценарного прогнозирования отличаются тем, как если бы, помимо всего прочего, пациенты все эти годы (30 лет) регулярно занимались физзарядкой или легким спортом. Как видно из рис. 5, в этом случае у пациента № 1 риск стенокардии стабильной упал бы с 98 до 2 %, риск стенокардии нестабильной остался бы на прежнем уровне, риск ИБС снизился бы с 98 до 91 %, риск аритмии и блокад сердца упал бы с 70 до 4 %. У пациента № 2 ХСН снизилась бы с 26 % до нуля, а у пациента № 3 риск ОСН снизился бы с 30 до 8 %.

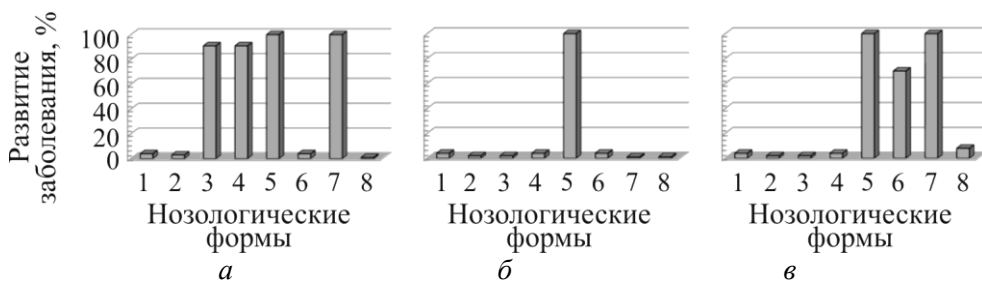


Рис. 5. То же самое при условии, что все 30 лет пациенты регулярно занимались физзарядкой или легким спортом (авторские результаты)

На рис. 6 представлены результаты сценарного прогнозирования в предположении, что пациенты по-прежнему не занимались физзарядкой, но бросили курить. В этом случае у пациента № 1 упали бы до нуля риски обеих стенокардий и ИБС, однако риск аритмии и блокад сердца сохранился бы на уровне 70 %, как на рис. 4. У пациента № 2 картина сценарного прогнозирования сохранилась бы, как и на рис. 5, т.е. для него отказ от курения или вместо этого занятие физкультурой одинаково положительно сказывается на состоянии сердечно-сосудистой системы, а именно – риска ХСН в обоих вариантах поведения пациента удалось бы избежать. Для пациента № 3 отказ от курения приведет к возрастанию ОСН с 8 до 63 %. Такому пациенту бросать курить не рекомендуется. По-видимому, привычка курения позволяет ему нивелировать получаемые стрессы, что положительно сказывается на состоянии его сердечно-сосудистой системы, в частности на предрасположенности к ОСН.

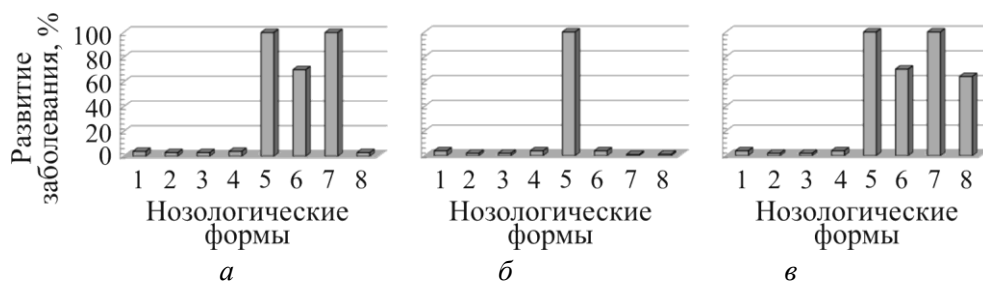


Рис. 6. То же самое при условии, что пациенты по-прежнему физзарядкой не занимались, но бросили курить (авторские результаты)

Результаты, представленные на рис. 7, получены в предположении, что регулярной физзарядкой пациенты все-таки занимались (при том, что они бросили курить). В этом случае прогнозные диагнозы первых двух пациентов не изменились, а пациенту № 3 удалось снизить риск ОСН с 63 до 22 %. Напомним, что когда пациент № 3 занимался физзарядкой и при этом еще и курил, то прогноз риска ОСН составил всего 8 % (см. рис. 5). Отсюда следует вывод, что для минимизации риска ОСН этому пациенту полезно заниматься физзарядкой и при этом не бросать курить.

На рис. 8 представлены результаты сценарного прогнозирования в предположении, что пациенты снизили вес на 20 кг, т.е. вернулись к своему первоначальному весу, который у них был 30 лет назад. В этом случае риск аритмии и блокад сердца первого пациента с 70 % упал бы до 4 %, а риск ОСН второго пациента с 100 % упал бы до 70 %.

риски сердечно-сосудистых заболеваний второго пациента остались бы прежними, а риск ОН третьего пациента снизился бы с 22 до 10 %.

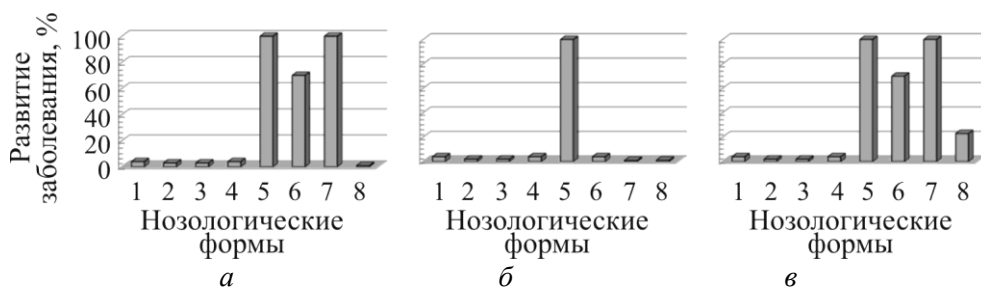


Рис. 7. То же самое при условии, что пациенты, в дополнение к предыдущему случаю, регулярно занимались физзарядкой (авторские результаты)

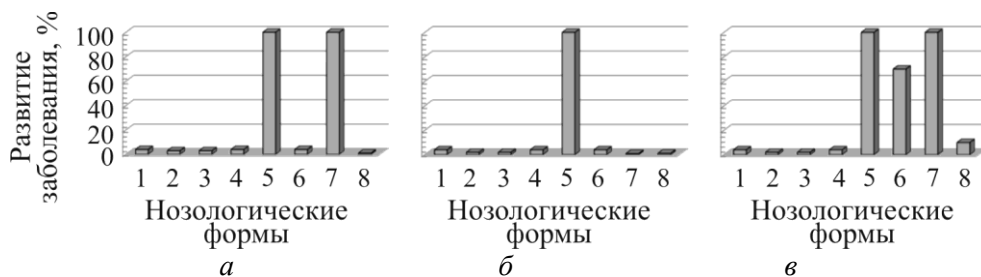


Рис. 8. То же самое при условии, что пациенты снизили бы свой вес на 20 кг, т.е. вернулись бы к своему первоначальному весу (авторские результаты)

На рис. 9 представлены результаты сценарного прогнозирования в предположении, что пациенты поддерживали бы в норме артериальное давление. Как видно из рисунка, это позволило бы первому пациенту снизить риск ХСН с 100 % до нуля. Показатели здоровья второго пациента остались бы без изменений, а третий пациент, наоборот, повысил бы риск ОН с 10 до 25 %.

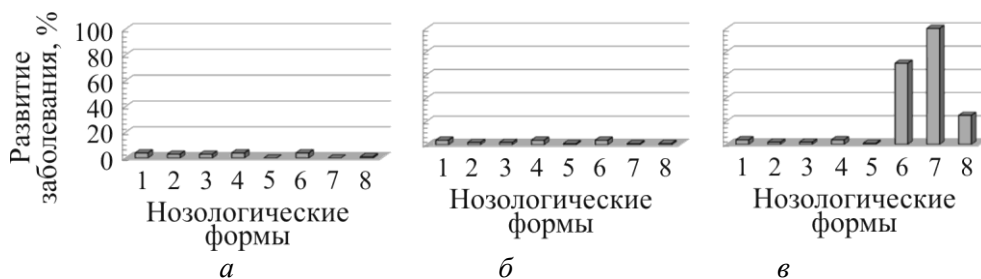


Рис. 9. То же самое при условии, что пациенты поддерживали бы свое артериальное давление в норме (авторские результаты)

Заключение

В статье показана возможность создания нейроэкспертных медицинских систем, позволяющих, помимо диагностики, выполнять долгосрочные прогнозы развития заболеваний, прогнозировать возникновение новых заболеваний в будущие периоды жизни пациента, а также управлять их появлением и развитием за счет изменения образа жизни пациентов и приема лекарственных препаратов.

Как показали вычислительные эксперименты, одни и те же управляющие воздействия, применяемые к различным пациентам, могут приводить как к улучшению, так и к ухудшению их здоровья. Поэтому врачам, прежде чем управлять здоровьем пациентов (назначать лекарственные препараты, курсы лечения, рекомендовать изменение образа жизни и т.д.), можно рекомендовать проверять последствия назначаемых управляющих воздействий путем виртуального экспериментирования на предлагаемых математических моделях, которые учитывают особенности организмов пациентов и текущее состояние их здоровья.

Публикация подготовлена при финансовой поддержке РФФИ: грант № 16-01-00164.

Список литературы

1. Artificial neural networks in medical diagnosis / F. Amato, F. López, E.M. Peña-Méndez, P. Vañhara, A. Hampl, J. Havel // Journal of applied biomedicine. – 2013. – No 11. – P. 47–58. DOI 10.2478/v10136-012-0031-x
2. Artificial neural network: as emerging diagnostic tool for breast cancer / I.K. Sandhu, M. Nair, H. Shukla, S.S. Sandhu // International Journal of Pharmacy and Biological Sciences. – 2015. – Vol. 5, Iss. 3. – P. 29-41.
3. Narang S., Verma H.K., Sachdev U. A Review of Breast Cancer Detection using ART Model of Neural Networks // International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. – 2012. – Vol. 2, iss. 10. – P. 311–319.
4. Artificial Intelligence in Personalized Medicine Application of AI Algorithms in Solving Personalized Medicine Problems / J. Awwalu, A.G. Garba, A. Ghazvini, R. Atuah // International Journal of Computer Theory and Engineering. – 2015. – Vol. 7, no. 6, December. – P. 439–443.
5. Мустафаев А.Г. Применение искусственных нейронных сетей для ранней диагностики заболевания сахарным диабетом // Кибернетика и программирование. – 2016. – № 2. – С. 1–7.

6. Soltani Z., Jafarian A. A New Artificial Neural Networks Approach for Diagnosing Diabetes Disease Type II // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. – 2016. – Vol. 7, no 6. – P. 89–95.

7. Беребин М.А., Пашков С.В. Опыт применения искусственных нейронных сетей для целей дифференциальной диагностики и прогноза нарушений психической адаптации // *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. – 2006. – № 14. – С. 41–45.

8. Application of a two-stage fuzzy neural network to a prostate cancer prognosis system / R.J. Kuo, M.H. Huang, W.C. Cheng, C.C. Lin, Y.H. Wu // *Artificial Intelligence in Medicine*. – 2015. – No 63(2). – P. 119–133.

9. Artificial neural network for diagnosis of pancreatic cancer / M.U. Sanoob, A. Madhu, K.R. Ajesh, S.M. Varghese // *International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI)*. – 2016. – Vol. 5, no. 2. – P. 40–49.

10. Application of Neural Networks in Diagnosing Cancer Disease Using Demographic Data / N. Ganesan, K. Venkatesh, M.A. Rama, A. Malathi Palani // *International Journal of Computer Applications*. – 2010. – Vol. 1, no. 26. – P. 75–85.

11. Recognition and prediction of leukemia with Artificial Neural Network / S. Afshar, F. Abdolrahmani, F.V. Tanha, M.Z. Seif, K. Taheri // *Medical Journal of Islamic Republic of Iran*. – 2011. – Vol. 25, no. 1. May. – P. 35–39.

12. Mahesh C., Suresh V.G., Babu M. Diagnosing Hepatitis B Using Artificial Neural Network Based Expert System // *International Journal of Engineering and Innovative Technology*. – 2013. – Vol. 3, iss. 6. – P. 139–144.

13. Artificial Neural Network and Mobile Applications in Medical diagnosis / G. Pearce, J. Wong, L. Mirskhulava, S. Al-Majeed, K. Bakuria, N. Gulua // *17th UKSIM-AMSS International Conference on Modelling and Simulation*. – 2015. – P. 60–65.

14. Kadhim Q. Artificial Neural Networks in Medical Diagnosis // *International Journal of Computer Science*. – 2011. – Vol. 8, iss. 2. – P. 150–155.

15. Kumar K., Abhishek. Artificial Neural Networks for Diagnosis of Kidney Stones Disease // *International Journal of Information Technology and Computer Science*. – 2012. – No 7. – P. 20–25.

16. Gil D., Johnsson M. Diagnosing Parkinson by using artificial neural networks and support vector machines // *Global Journal of Computer Science and Technology*. – 2009. – No 9 (4). – P. 63–71.

17. Singh M., Singh M., Singh P. Artificial Neural Network based classification of Neuro-Degenerative diseases using Gait features // *Interna-*

tional Journal of Information Technology and Knowledge Management. – 2013. – Vol. 7, № 1. – P. 27–30.

18. Аравин О.И. Применение искусственных нейронных сетей для анализа патологий в кровеносных сосудах // Российский журнал биомеханики. – 2011. – Т. 15, № 3 (53). – С. 45–51.

19. Sayad A.T., Halkarnikar P.P. Diagnosis of heart disease using neural network approach // International Journal of Advances in Science Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 2, iss. 3. – P. 88–92.

20. Ajam N. Heart Diseases Diagnoses using Artificial Neural Network // Network and Complex Systems. – 2015. – Vol. 5, no. 4. – P. 7–11.

21. Olaniyi E.O., Oyedotun O.K. Heart Diseases Diagnosis Using Neural Networks Arbitration // International Journal of Intelligent Systems and Applications. – 2015. – No 12. – P. 75–82.

22. Prediction of acute myocardial infarction with artificial neural networks in patients with nondiagnostic electrocardiogram / J. Kojuri, R. Boostani, P. Dehghani, F. Nowroozipour, N. Saki // Journal of Cardiovascular Disease Research. – 2015. – Vol. 6, iss. 2. Apr-Jun. – P. 51–60.

23. Хливненко Л.А., Васильев В.В., Пятакович Ф.А. Возможности решения медицинских диагностических задач с помощью проектирования обучающихся искусственных нейронных сетей [Электронный ресурс] // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 12. – С. 75–79. – URL: <https://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=15450> (дата обращения: 04.06.2017).

24. Artificial Neural Network: A Tool for Diagnosing Osteoporosis / A. Basit, M. Sarim, K. Raffat [et al.] // Research Journal of Recent Sciences. – 2014. – Vol. 3 (2). – P. 87–91.

25. Raji C.G., Vinod Chandra S.S. Graft survival prediction in liver transplantation using artificial neural network models // Journal of Computational Science. – 2016. – No 16. – P. 72–78.

26. Прохоренко И.О. Метод нейросетевого моделирования и его использование для прогнозирования развития соматической патологии у лиц старших возрастных групп [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. – URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8411> (дата обращения: 11.07.2017).

27. Диагностика и прогнозирование течения заболеваний сердечно-сосудистой системы на основе нейронных сетей / Л.Н. Ясницкий, А.А. Думлер, К.В. Богданов, А.Н. Полещук, Ф.М. Черепанов, Т.В. Макурина, С.В. Чугайнов // Медицинская техника. – 2013. – № 3. – С. 42–44.

28. Artificial Neural Networks for Obtaining New Medical Knowledge: Diagnostics and Prediction of Cardiovascular Disease Progression / L.N. Yasnitsky, A.A. Dumler, A.N. Poleshchuk, C.V. Bogdanov, F.M. Cherepanov // *Biology and Medicine*. – 2015. – No 7(2): BM-095-15. – 8 p. – URL: http://www.biolmedonline.com/Articles/Vol7_2_2015/BM-095-15.

29. Нейросетевая модель региона для выбора управляющих воздействий в области обеспечения гигиенической безопасности / Л.Н. Ясницкий, Н.В. Зайцева, А.Л. Гусев, П.З. Шур // *Информатика и системы управления*. – 2011. – № 3 (29). – С. 51–59.

References

1. Amato F., López F., Peña-Méndez E.M., Vaňhara P., Hampl A., Havel J. *Artificial neural networks in medical diagnosis – Journal of Applied Biomedicine*. 2013, No. 11, pp. 47-58. DOI 10.2478/v10136-012-0031-x.

2. Sandhu I.K., Nair M., Shukla H., Sandhu S.S. *Artificial neural network: as emerging diagnostic tool for breast cancer – International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. 2015, Vol. 5. Iss. 3, pp. 29-41.

3. Narang S., Verma H.K., Sachdev U. *A Review of breast cancer detection using ART model of neural networks – International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2012, Vol. 2, Iss. 10, Pp. 311-319.

4. Awwalu J., Garba A.G, Ghazvini A., Atuah R. *Artificial intelligence in personalized medicine application of ai algorithms in solving personalized medicine problems – International Journal of Computer Theory and Engineering*. 2015, Vol. 7, No. 6, pp. 439-443.

5. Mustafayev A.G. *Primenenie iskusstvennyh nejronnyh setej dlja rannej diagnostiki zabolevaniya saharnym diabetom [Application of artificial neural networks for early diagnosis of diabetes mellitus] – Kibernetika i Programirovanie*. 2016. № 2. Pp. 1-7.

6. Soltani Z., Jafarian A. *A new artificial neural networks approach for diagnosing diabetes disease type II – International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2016, Vol. 7, No. 6, pp. 89-95.

7. Berebin M.A., Pashkov S.V. *Opyt primeneniya iskusstvennyh nejronnyh setej dlja celej differencial'noj diagnostiki i prognoza narushenij psicheskoj adaptacii [Experience in the use of artificial neural networks for the purposes of differential diagnosis and prediction of mental disorders] – Bulletin of South Ural State University*. 2006, No. 14, pp. 41-45.

8. Kuo R.J., Huang M.H., Cheng W.C., Lin C.C., Wu Y.H. *Application of a two-stage fuzzy neural network to a prostate cancer prognosis system – Artificial Intelligence in Medicine*. 2015, No 63, Iss. 2, pp. 119-133.

9. Sanoob M.U., Madhu A., Ajesh K.R., Varghese S.M. *Artificial neural network for diagnosis of pancreatic cancer – International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI)*. 2016, Vol. 5, No. 2, pp. 40-49.

10. Ganesan N., Venkatesh K., Rama M.A., Malathi Palani A. *Application of neural networks in diagnosing cancer disease using demographic data – International Journal of Computer Applications*. 2010, Vol. 1, No. 26, pp. 75-85.

11. Afshar S., Abdolrahmani F., Tanha F.V., Seif M.Z., Taheri K. *Recognition and prediction of leukemia with artificial neural network – Medical Journal of Islamic Republic of Iran*. 2011, Vol. 25, No. 1, pp. 35-39.

12. Mahesh C., Suresh V.G., Babu M. *Diagnosing Hepatitis B Using Artificial Neural Network Based Expert System – International Journal of Engineering and Innovative Technology*. 2013, Vol. 3, Iss. 6, pp. 139-144.

13. Pearce G., Wong J., Mirskhulava L., Al-Majeed S., Bakuria K., Gulua N. *Artificial Neural Network and Mobile Applications in Medical diagnosis – 17th UKSIM-AMSS International Conference on Modelling and Simulation*. 2015, pp. 60-65.

14. Kadhim Q. *Artificial Neural Networks in Medical Diagnosis – International Journal of Computer Science*. 2011, Vol. 8, Iss. 2, pp. 150-155.

15. Kumar K., Abhishek. *Artificial Neural Networks for Diagnosis of Kidney Stones Disease – International Journal of Information Technology and Computer Science*. 2012, No. 7, pp. 20-25.

16. Gil D., Johnsson M. *Diagnosing Parkinson by using artificial neural networks and support vector machines – Global Journal of Computer Science and Technology*, 2009, No. 9, Iss. 4, pp. 63-71.

17. Singh M., Singh M., Singh P. *Artificial neural network based classification of neuro-degenerative diseases using Gait features – International Journal of Information Technology and Knowledge Management*. 2013, Vol. 7, Iss. 1, pp. 27-30.

18. Aravin O.I. *Primenenie iskusstvennyh nejronnyh setej dlja analiza patologij v krovenosnyh sosudah* [Application of artificial neural networks to analyze abnormalities in blood vessels] – *Russian Journal of Biomechanics*. 2011, Vol. 15, No. 3, Iss. 53, Pp. 45–51.

19. Sayad A.T., Halkarnikar P.P. *Diagnosis of heart disease using neural network approach – International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*. 2014, Vol. 2, Iss. 3, pp. 88-92.

20. Ajam N. *Heart diseases diagnoses using artificial neural network – Network and Complex Systems*. 2015, Vol. 5, No. 4, pp. 7-11.

21. Olaniyi E.O., Oyedotun O.K. *Heart diseases diagnosis using neural networks arbitration – International Journal of Intelligent Systems and Applications*. 2015, No. 12, pp. 75-82.

22. Kojuri J., Boostani R., Dehghani P., Nowroozipour F., Saki N. *Prediction of acute myocardial infarction with artificial neural networks in patients with nondiagnostic electrocardiogram – Journal of Cardiovascular Disease Research*. 2015, Vol 6, Iss. 2, pp. 51-60.

23. Hlivnenko L.A., Vasil'ev V.V., Pjatakovich F.A. *Vozmozhnosti reshenija medicinskih diagnosticheskikh zadach s pomoshh'ju proektirovanija obuchajushhihsja iskusstvennyh nejronnyh setej* [The possibilities of solving medical diagnostic problems using the design of trained artificial neural networks] – *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya*. 2010, No. 12, pp. 75-79; available at: <https://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=15450>.

24. Basit A., Sarim M., Raffat K., etc. *Artificial Neural Network: A Tool for Diagnosing Osteoporosis – Research Journal of Recent Sciences*. 2014, Vol. 3, Iss. 2, pp. 87-91.

25. Raji, C.G., Vinod Chandra, S.S. *Graft survival prediction in liver transplantation using artificial neural network models – Journal of Computational Science*. 2016, No. 16, pp. 72-78.

26. Prohorenko I.O. *Metod nejrosetevogo modelirovanija i ego ispol'zovanie dlja prognozirovaniya razvitija somaticheskoy patologii u lic starshih vozrastnyh grupp* [The method of neural network modeling and its use for forecasting the development of somatic pathology in people of older age groups] – *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovanija*. 2013, No. 1, available at: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8411>.

27. Yasnitsky L.N., Dumler A.A., Bogdanov K.V., Poleshhuk A.N., Cherepanov F.M., Makurina T.V., Chugajnov S.V. *Diagnosis and prognosis of cardiovascular diseases on the basis of neural networks – Biomedical Engineering*. 2013, Vol. 47, Iss. 3, pp. 160-163.

28. Yasnitsky L.N., Dumler A.A., Poleshchuk A.N., Bogdanov C.V., Cherepanov F.M. *Artificial neural networks for obtaining new medical knowledge: diagnostics and prediction of cardiovascular disease progression – Biology and Medicine*. 2015, Iss. 7 (2): BM-095-15, available at: http://www.biolmedonline.com/Articles/Vol7_2_2015/BM-095-15

29. Yasnitsky L.N., Zajceva N.V., Gusev A.L., Shur P.Z., *Neirosetevaia model regiona dlia vybora upravliaiushchikh vozdeistvii v oblasti obespecheniia gigenicheskoi bezopasnosti* [Neural network model of the region for the choice of control actions in the field of hygienic safety] – *Information Science and Control Systems*. 2011, Vol. 3, Iss. 29, pp. 51-59.

Получено 21.08.2018

Об авторах

Ясницкий Леонид Нахимович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры прикладной математики и информатики Пермского государственного национального исследовательского университета (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: yasn@psu.ru).

Черепанов Федор Михайлович (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры прикладной информатики Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета (614990, г. Пермь, ул. Сибирская, 24, e-mail: fe-c@pspu.ru).

About the authors

Leonid N. Yasnitsky (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Applied Mathematics and Informatics, Perm State University (15, Bukirev st., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: yasn@psu.ru).

Fedor M. Cherepanov (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Applied Informatics, Perm State Humanitarian-Pedagogical University (24, Sibirskaya st., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: fe-c@pspu.ru).