

УДК 519.71

Н. И. ФЕДОРЕНКО¹, И. М. АНТОНЯН², Р. В. СТЕЦИШИН², В. С. ХАРЧЕНКО¹¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*² *Харьковская медицинская академия последипломного образования, Украина*

МНОГОФАКТОРНОЕ ИЕРАРХИЧЕСКОЕ НЕЙРОСЕТЕВОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ В УРОЛОГИИ

Предлагается многофакторная иерархическая структура нейросетевых модулей, разработанная для распознавания заболеваний в урологии путем обработки разноплановых, неоднородных параметров, полученных в результате урофлоуметрического обследования пациентов с помощью урофлоуметра. По результатам анализа отобраны те параметры, которые являются определяющими при диагностировании отклонений от нормы, наличии обструкции и распознавании заболеваний. Особенностью разработанной многофакторной иерархической модели является модульная организация распознавания неоднородных разноплановых урофлоуметрических параметров, базирующаяся на нейросетевых модулях с различной архитектурой и методах обучения. Экспериментально апробирована способность предложенной нейросетевой модели по распознаванию урофлоуметрических параметров пациентов.

Ключевые слова: многофакторная иерархическая структура нейросетевых модулей, нейросетевое распознавание урофлоуметрических параметров, нейронные сети, иерархическая взаимосвязь урофлоуметрических параметров пациентов.

Введение

В настоящее время при диагностировании заболеваний в медицине все шире используются методы обработки информации, основанные на нейросетевых архитектурах, в системах поддержки принятия решений для сбора и обработки данных по обследованию пациентов [1–3]. Кроме того, такой подход используется для определения заболеваний органов и систем функционирования организма, решения задач дифференциальной диагностики заболеваний [4–6].

Предметом исследований, рассматриваемых в данной статье, является урофлоуметрия, где диагностирование заболеваний осуществляется неинвазивными методами с использованием урофлоуметров. В урологии накоплен большой опыт диагностирования заболеваний нейросетевыми методами, исходя из значений урофлоуметрических параметров [7, 8]. Например, одним из основных способов определения состояния нижних мочевых путей человека является визуальный анализ врачом графиков урофлоурограмм. Этот подход является наиболее значимым и информативным при анализе состояния нижних мочевых путей человека. Ему посвящен целый ряд исследований и публикаций. Известны нейросетевые подходы к решению этой задачи [9, 10]. Однако, при диагностировании для получения более полной картины состояния нижних мочевых путей пациентов, кроме анализа урофлоурограмм, необходимо учитывать другую и, что очень важно, разноплановую информацию: возраст, пол, показатели

максимальной и средней скорости мочеиспускания, объем потока, время мочеиспускания, анатомические, детрузорные факторы. Если говорить об этой проблеме с технической точки зрения, то врач имеет дело с многоканальной и многопараметрической системой диагностирования, системой распознавания заболеваний. Построению комплексной нейросетевой системы поддержки принятия решений, способной учитывать и одновременно обрабатывать разноплановую диагностическую информацию в урологии, посвящена данная работа.

Постановка задачи многофакторного диагностирования заболеваний в урологии

Диагностирование заболеваний в урологии с помощью урофлоуметрических показателей осуществляется по результатам прохождения пациентом урофлоуметрического анализа с помощью урофлоуметра. В результате врач должен проанализировать следующие разноплановые разнородные показатели [11, 12]:

- значение максимальной скорости мочеиспускания – Q_{\max} ;
- значение средней скорости мочеиспускания – Q_{ave} ;
- объем выпущенной мочи – V ;
- продолжительность мочеиспускания – T ;
- положение точек максимальной и средней скорости мочеиспускания на номограммах – n ;
- вид урофлоуметрической кривой (график

урофлюорограммы) – u ;

- время достижения максимальной скорости потока мочи – T_{max} ;
- нижняя граница нормы по показателю Q_{max} в зависимости от пола и возраста – $Q_{g_{max}}$;
- возраст пациента – A .

В конечном счете, диагностирование заболеваний в урологии с помощью урофлоуметрии базируется на учете всех перечисленных урофлоуметрических параметров. Общая схема алгоритма работы врача состоит из следующих составляющих шагов и интерпретируется схемой информационно-диагностической модели, представленной на рис. 1. В частности, первым значимым параметром для врача является значение максимальной скорости мочеиспускания. При этом, если Q_{max} меньше нижней границы нормы $Q_{g_{max}}$ (зависит от возраста), то у пациента – отклонение от нормы (нарушение работы нижних мочевых путей). На следующем этапе врача интересует положение точек: Q_{max} , Q_{ave} на номограммах. Если они расположены в заштрихованной области номограмм, то это является подтверждением нарушения работы нижних мочевых путей. После этого врач анализирует непосредственно урофлюорограмму, и, по виду графика, делает заключение о наличии того или иного заболевания у пациента.

Как следует из введенных выше обозначений и схемы диагностирования, приведенной на рис. 1, все входные данные можно объединить в 3 разнотипные группы (уровни) по схожести: 1 группа – входные данные, описывающие критические значения максимальной скорости в зависимости от возраста, 2 группа – данные, характеризующие положение точек максимальной и средней скорости потока на

номограммах, 3 группа – вектор текущих значений скорости потока (график урофлюорограмм). Сформулируем в общем виде постановку задачи диагностирования заболеваний в урологии. Пусть Y_i – возможных выходов диагностируемой системой по распознаванию заболеваний в урологии, где $i = \overline{1, P}$, P – число видов заболеваний. Тогда Q, N, U – есть соответственно множество значений максимальной скорости потока пациентов, множество положений точек максимальной и средней скорости на номограммах, множество векторов текущих значений скорости потока. Таким образом, процедуру диагностирования заболеваний можно представить в виде отображения:

$$F : Q \times N \times U \rightarrow Y .$$

Соответственно постановка задачи диагностирования заболеваний в урологии с использованием аппарата искусственных нейронных сетей может быть сформулирована следующим образом. Требуется на основе функциональных возможностей нейронных сетей для любого значения максимальной скорости потока мочи пациента, значений положения точек максимальной и средней скорости на номограммах, вектора текущих значений скорости потока построить отображение:

$$\tilde{y} = F(Q_{max}, n, u),$$

$$Q_{max} \in Q, n \in N, u \in U, \tilde{y} \in \tilde{Y}, y \in Y,$$

где \tilde{Y} – множество видов заболеваний. При этом необходимо обеспечить $\|y - \tilde{y}\| \rightarrow \min$ (максимальное совпадение прогнозируемого диагностического

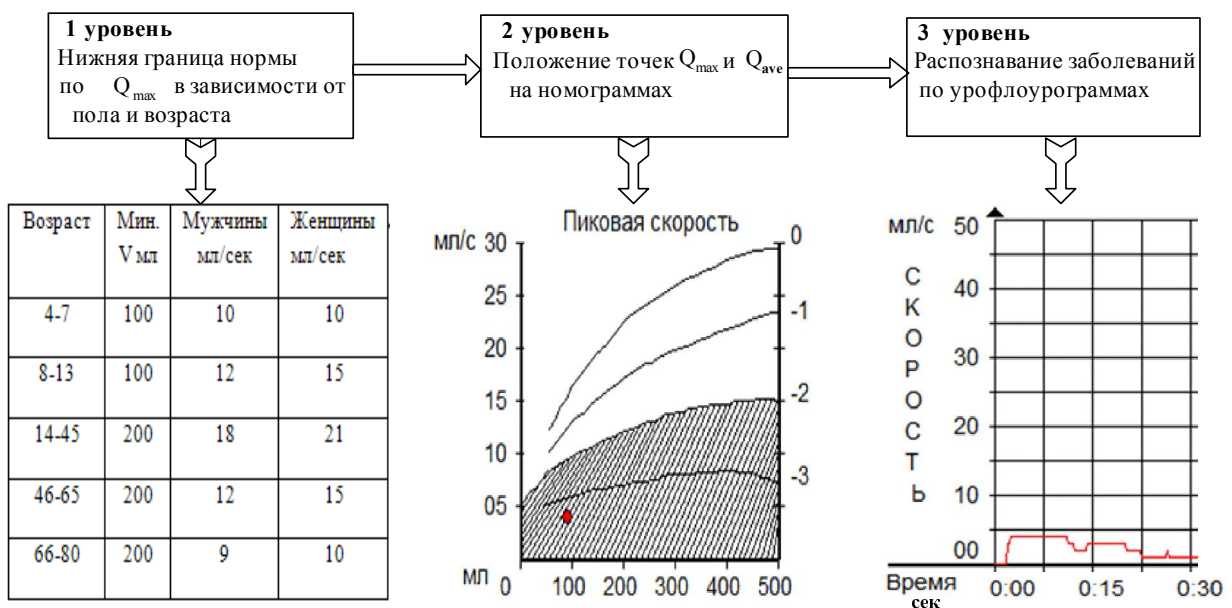


Рис. 1. Информационно-диагностическая модель процедуры распознавания заболеваний в урологии

заключения и фактического заболевания), где y – вычисляемое нейронной сетью диагностируемое заключение, \tilde{y} – фактическое заболевание.

Многофакторная иерархическая нейросетевая модель распознавания заболеваний в урологии

Для решения поставленной задачи предлагается разработать структуру нейронной сети, позволяющую корректно совмещать разнородную информацию, представленную урофлоуметрическими параметрами. Решение задачи диагностирования возможно на основе двух подходов:

- распознавание с помощью одной нейронной сети с обработкой одновременно всего множества разнотипных урофлоуметрических параметров;

- декомпозиция задачи диагностирования на отдельные подзадачи с учетом их разнопланового характера и иерархической взаимосвязи на базе отдельных нейросетевых модулей.

Наиболее естественным способом решения задачи диагностирования является второй подход. Очевидно, что такой подход позволяет учитывать специфику урофлоуметрических параметров и, в случае необходимости, по запросу врача отобразить значение того или иного урофлоуметрического параметра отдельно. Ясно, что такая модель обладает необходимой гибкостью, расширяемостью и достаточной универсальностью обработки урофлоуметрических параметров. Обучение отдельных нейросетевых модулей занимает меньше времени, чем огромной сети. Кроме того, такой подход аналогичен способам обработки информации в человеческом мозгу послойно – каскад за каскадом. Если на предыдущем каскаде (этапе) значение урофлоуметрического параметра подтверждает заболевание, то осуществляется переход к следующему каскаду по обработке очередного параметра. Общая схема реализации многофакторной иерархической структуры нейросетевых модулей представлена на рис. 2. Обработка урофлоуметрических параметров осуще-

ствляется поэтапно и представляет собой многоуровневую иерархическую (многошаговую) процедуру, в которой младшие (нижестоящие) нейросетевые структуры являются более простыми, обрабатывают малозначимую информацию и выполняют подготовительную работу. Старшие, вышестоящие структуры, распознают непосредственно вид заболевания. Их «включение» в процесс зависит от результатов работы нижестоящих структур, если они распознают по значениям урофлоуметрических параметров тенденцию (подтверждение) заболевания. Таким образом, задача диагностирования заболеваний в урологии с помощью многоуровневых иерархических нейросетевых архитектур трансформируется в отдельные подзадачи построения отображений распознавания урофлоуметрических параметров:

$$Q_{g_{\max}} = F_1(A), \tilde{n} = F_2(Q_{\max}, Q_{\text{ave}}), y = F_3(u),$$

при условии: $(Q_{\max} < Q_{g_{\max}})$,

$(Q_{\max} \in \tilde{n}) \wedge (Q_{\text{ave}} \in \tilde{n}), \|y - \tilde{y}\| \rightarrow \min$, где \tilde{n} – множество значений Q_{\max} и Q_{ave} , принадлежащих заштрихованной области номограмм, $\tilde{n} \in N$.

Экспериментальная часть

Поиск приемлемых вариантов нейросетевых архитектур для распознавания указанных урофлоуметрических параметров осуществлялся экспериментально. Нейронную сеть, реализующую оператор F_1 , определено в виде сети с радиальными базисными функциями. Количество нейронов первого слоя равно – 77 (суммарное количество лет диагностируемого возрастного диапазона пациентов). Входным вектором сети являются значения возраста пациентов. Выход сети – номер возрастной группы и соответствующее ей значение $Q_{g_{\max}}$ (нижняя граница нормы по показателю Q_{\max}). В дальнейшем соответствующая возрастной группе величина $Q_{g_{\max}}$ сравнивается с текущим значением Q_{\max} , полученным в результате урофлоуметрического анализа пациента. Если $Q_{\max} \leq Q_{g_{\max}}$, значит име-

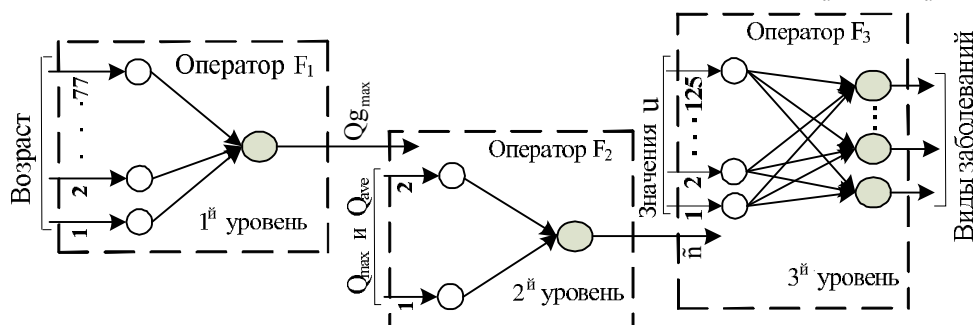


Рис. 2. Иерархическая структура нейросетевых модулей, реализующих многофакторное диагностирование заболеваний

ют место нарушения в работе нижних мочевых путей, поэтому активизируется следующий уровень (модуль) иерархической сети. Нейронная сеть этого уровня реализует оператор F_2 и представляет собой обобщенно-регрессионную сеть. В случае распознавания принадлежности точек значений Q_{max} и Q_{ave} к нижней заштрихованной области номограмм, имеет место дальнейшее подтверждение нарушений работы нижних мочевых путей. На следующем этапе обработку урофлоуметрических параметров осуществляет сеть, реализующая оператор F_3 . Архитектура модуля определена в виде сети встречного распространения. На вход сети подаются дискретные значения скорости потока в объеме 125 точек (4 точки в секунду). На выходе сети – вид диагностируемого заболевания пациента. Апробация предложенного подхода проведена на реальных данных 20 пациентов с двумя видами заболеваний: стриктура уретры и незначительная инфравезикальная обструкция. На рис. 3 представлен протокол результатов обследования с помощью урофлоуметра у одного из пациентов, где отображены значения урофлоуметрических параметров.

Реализация на компьютере многофакторной иерархической нейросетевой модели распознавания заболеваний в урологии осуществлена в программной среде MATLAB R2010a. Программный

комплекс состоит из 3-х подпрограмм по созданию, обучению и тестированию всех нейросетевых модулей многофакторной иерархической структуры. В результате обработки урофлоуметрических параметров пациента №1 многофакторной иерархической нейронной сетью распознан вид заболевания – стриктура уретры.

Заключение

В работе развит нейросетевой подход по распознаванию заболеваний в урологии, базирующийся на обработке процесса мочеиспускания и полученных с помощью урофлоуметра показателей уродинамики потока. Полученные урофлоуметрические показатели являются неоднородными, имеют разноплановый характер и различную значимость при диагностировании заболеваний врачом. Кроме того, важным в процессе диагностирования является последовательность (очередность) анализа полученных урофлоуметрических показателей. Новизной предложенного подхода является разработка многофакторной иерархической структуры нейросетевых модулей распознавания заболеваний в урологии, позволяющей обрабатывать разноплановую диагностическую информацию, полученную в результате урофлоуметрического обследования пациентов.

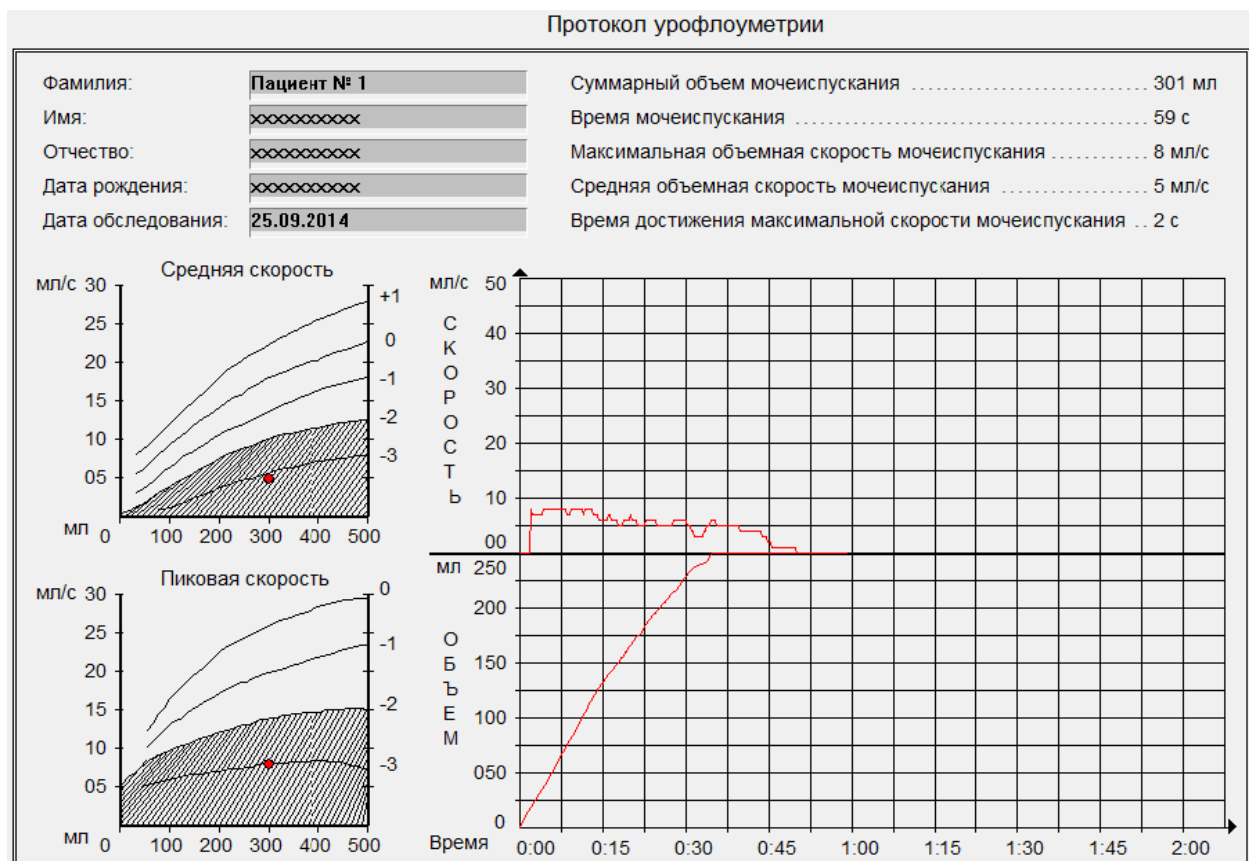


Рис. 3. Протокол урофлоуметрического обследования пациента №1

На основе врачебного анализа данных урофлоуметрии пациентов разработан алгоритм последовательного распознавания множества разноплановых урофлоуметрических параметров. Экспериментально апробирована возможность обработки урофлоуметрических параметров многофакторной иерархической нейросетевой моделью распознавания заболеваний. В дальнейшем планируется исследовать точность распознавания урофлоуметрических параметров и надежность функционирования разработанной многофакторной иерархической нейросетевой модели распознавания заболеваний в урологии.

Литература

1. Kolekar, Jayashri S., *Clinical decision making using artificial neural network with particle swarm optimization algorithm* [Text] / Jayashri S. Kolekar, Chhaya Pawar // *International Journal of Research in Advent Technology*. – January 2014. – Volume 2, Issue 1. – P. 311–315.
2. Qeethara Kadhim Al-Shayea. *Artificial Neural Networks in Medical Diagnosis* [Text] / Qeethara Kadhim Al-Shayea // *Journal of Computer Science Issues*. – March 2011. – Vol. 8, Issue 2. – P. 150–155.
3. Арзамасцев, А. А. *Технология построения медицинской экспертной системы на основе аппарата искусственных нейронных сетей* [Текст] / А. А. Арзамасцев, Н. А. Зенкова, А. В. Неудакхин // *Информационные технологии*. – 2009. – № 8. – С. 60–63.
4. Абдуллаева, Г. Г. *Интеллектуально-информационная система дифференциальной диагностики отравлений токсическими веществами (на примере отравлений угарным газом)* [Текст] / Г. Г. Абдуллаева, Н. Г. Курбанова, И. Х. Мирзазаде // *Информационные технологии*. – 2013. – № 10. – С. 40–45.
5. Ghwanmeh, S. *Innovative Artificial Neural Networks-Based Decision Support System for Heart Diseases Diagnosis* [Text] / Sameh Ghwanmeh, Adel Mohammad, Ali Al-Ibrahim // *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*. – 2013. – № 5. – P. 176–183.
6. Irfan Khan, Y. *Importance of Artificial Neural Network in Medical Diagnosis disease like acute nephritis disease and heart disease* [Text] / Y. Irfan Khan, P. H. Zope, S. R. Suralkar // *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*. – March 2013. – Volume 2, Issue 2. – P. 210–217.
7. *Application of artificial neural networks in the diagnosis of urological dysfunctions* [Text] / Magnus Johnsson, Juan Manuel Garcia Chamizo, Antonio Soriano Paya, Daniel Ruiz Fernandez // *Expert Systems with Applications*. – April 2009. – Volume 36, Issue 3, Part 2. – P. 5754–5760.
8. *Development of an artificial neural network for helping to diagnose diseases in urology* [Text] / A. Paya, D. Fernandez, D. Mendez, C. Montejo Hernandez // *BIONETICS '06 : Proceedings of the 1st international conference on Bio inspired models of network, information and computing systems Article*. – 2006. – № 9. – P. 1–4.
9. *A new approach to urinary system dynamics problems: Evaluation and classification of uroflowmeter*

signals using artificial neural networks [Text] / Altunay Semih, Telatar Ziya, Eroglu Osman, Aydur Emin // *Expert Systems With Applications*. – 2009. – Vol. 36, Issue 3. – P. 4891–4895.

10. *Interpretation of Uroflow Graphs with Artificial Neural Networks* [Text] / S. Altunay, Z. Telatar, O. Eroglu, E. Aydur // *Signal Processing and Communications Application, 2006 IEEE 14th, 17–19 April 2006*. – P. 1–4.

11. *Урология [Текст] : национальное руководство / под редакцией акад. РАМН Н. А. Лопаткина*. – М. : Издательская группа ГЕОТАР–Медиа, 2009. – 1024 с.

12. Пушкарь, Д. Ю. *Функциональная урология и уродинамика [Текст] / Д. Ю. Пушкарь, Г. Р. Касьян*. – М. : ГЕОТАР–Медиа, 2014. – 376 с.

References

1. Kolekar, Jayashri S., Pawar, Chhaya. *Clinical decision making using artificial neural network with particle swarm optimization algorithm*. *International Journal of Research in Advent Technology*, January 2014, vol. 2, iss. 1, pp. 311–315.
2. Al-Shayea, Q. K. *Artificial Neural Networks in Medical Diagnosis*. *Journal of Computer Science*, March 2011, vol. 8, iss. 2, pp. 150–155.
3. Arzamashev, A. A., Zenkova, N. A., Neudakhin, A. V. *Tekhnologiya postroeniya meditsinskoi ekspertnoi sistemy na osnove apparata iskusstvennykh neuronnykh setei* [The technology of construction of medical expert system based on artificial neural networks]. *Informatsionnye tekhnologii*, 2009, vol. 8, pp. 60–63.
4. Abdulaeva, G. G., Kurbanova, N. G., Mirzazade, I. Kh. *Intellectual'no-informatsionnaya sistema differentsial'noi diagnostiki otravlenii toksicheskimi veshchestvami (na primere otravlenii ugarnym gazom)* [Intellectually and information system of differential diagnosis of poisoning by toxic substances (for example, carbon monoxide poisoning)]. *Informatsionnye tekhnologii*, 2013, vol. 10, pp. 40–45.
5. Ghwanmeh, S., Mohammad, A., Al-Ibrahim, A. *Innovative Artificial Neural Networks-Based Decision Support System for Heart Diseases Diagnosis*. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 2013, vol. 5, pp. 176–183.
6. Irfan Khan, Y., Zope, P. H., Suralkar, S. R. *Importance of Artificial Neural Network in Medical Diagnosis disease like acute nephritis disease and heart disease*. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, March 2013, vol. 2, iss. 2, pp. 210–217.
7. Johnsson, M., Garcia Chamizo, J. M., Soriano Paya, A., Ruiz Fernandez, D. *Application of artificial neural networks in the diagnosis of urological dysfunctions*. *Expert Systems with Applications*, April 2009, vol. 36, iss. 3, part 2, pp. 5754–5760.
8. Paya, A., Fernandez, D., Mendez, D., Montejo Hernandez, C. *Development of an artificial neural network for helping to diagnose diseases in urology*. *BIONETICS '06 : Proceedings of the 1st international conference on Bio inspired models of network, information and computing systems Article*, 2006, vol. 9, pp. 1–4.
9. Altunay, S., Telatar, Z., Eroglu, O., Aydur, E. *A new approach to urinary system dynamics problems:*

Evaluation and classification of uroflowmeter signals using artificial neural networks. *Expert Systems With Applications*, 2009, vol. 36, iss. 3, pp. 4891–4895.

10. Altunay, S., Telatar, Z., Eroglu, O., Aydur, E. Interpretation of Uroflow Graphs with Artificial Neural Networks. *Signal Processing and Communications Application*, IEEE 14th, 17–19 April 2006, pp. 1–4.

11. Lopatkin, N. A. *Urologiya: natsional'noe rukovodstvo* [Urology: national leadership]. Moscow, Izdatel'skaya gruppa GEOTAR – Media Publ., 2009. 1024 p.

12. Pushkar', D. Yu., Ka'syan, G. R. *Funktsional'naya urologiya i urodinamika* [Functional urology and urodynamics]. Moscow, GEOTAR – Media Publ., 2014. 376 p.

Поступила в редакцію 04.02.2016, рассмотрена на редколлегии 18.02.2016

БАГАТОФАКТОРНЕ ІЄРАРХІЧНЕ НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗАХВОРЮВАНЬ В УРОЛОГІЇ

М. І. Федоренко, І. М. Антонян, Р. В. Стецишин, В. С. Харченко

Пропонується багатофакторна ієрархічна структура нейромережєвих модулів, яку розроблено для розпізнавання захворювань в урології шляхом обробки різнопланових, неоднорідних параметрів, отриманих за результатами урофлоуметричного обстеження пацієнтів за допомогою урофлоуметра. За результатами аналізу відібрано ті параметри, які являються визначальними при діагностуванні відхилень від норми, наявності обструкції та розпізнаванні захворювань. Особливістю розробленої багатофакторної ієрархічної моделі являється модульна організація розпізнавання неоднорідних різнопланових урофлоуметричних параметрів, яка базується на нейромережєвих модулях з різною архітектурою та методах навчання. Експериментально апробовано можливість запропонованої нейромережєвої моделі по розпізнаванню урофлоуметричних параметрів при вирішенні задач діагностування захворювань в урології.

Ключові слова: багатофакторна ієрархічна структура нейромережєвих модулів, нейромережєве розпізнавання урофлоуметричних параметрів, нейронні мережі, ієрархічний зв'язок урофлоуметричних параметрів пацієнтів.

DETECTING THE UROLOGIC DISEASES BY MEANS OF MULTIFACTORIAL HIERARCHIC NEURAL NETWORKS

N. I. Fedorenko, I. M. Antonyan, R. V. Stetsyshyn, V. S. Kharchenko

The article offers a multifactorial hierarchy structure of neural network modules, developed to diagnose the urologic diseases by processing versatile heterogeneous parameters. These parameters are obtained by carrying out uroflowmetry in patients, using a uroflometer. Based on the results of the analysis, the key parameters for detecting aberrations, obstructions, and diagnosing diseases have been selected. The key feature of the developed multifactorial hierarchy model is the modularized system for detecting the heterogeneous and versatile uroflowmetric parameters. This system is based on neural network modules of different architecture, and training methods. The ability of the neural network model to detect the uroflowmetric parameters in patients has been tested.

Keywords: multifactorial hierarchy structure of neural network modules, detection of the uroflowmetric parameters by means of neural network, neural networks, hierarchic interconnection of the uroflowmetric parameters in patients.

Федоренко Николай Иванович – зав. лаб. каф. прикладной лингвистики, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков, Украина, e-mail: Fednic-07@yandex.ua.

Антонян Игорь Михайлович – канд. мед. наук, доцент, зав. каф. урологии, Харьковская медицинская академия последипломного образования, Харьков, Украина, e-mail: info@urology.kharkov.ua.

Стецишин Роман Васильевич – канд. мед. наук, доцент, доцент каф. урологии, Харьковская медицинская академия последипломного образования, Харьков, Украина, e-mail: r.stetsyshyn@gmail.com.

Харченко Вячеслав Сергеевич – д-р техн. наук, профессор, зав. каф. компьютерных систем и сетей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков, Украина.

Fedorenko Nikolai Ivanovich – Deputy Head of Dep. of Applied Linguistics, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: Fednic-07@yandex.ua.

Antonyan Igor' Mikhailovich – PhD in Medicine, Ass. Prof., Head of Dep. of Urology, Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education, Kharkiv, Ukraine, e-mail: info@urology.kharkov.ua.

Stetsyshyn Roman Vasil'evich – PhD in Medicine, Ass. Prof. of Dep. of Urology, Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education, Kharkiv, Ukraine, e-mail: r.stetsyshyn@gmail.com.

Kharchenko Vyacheslav Sergeevich – Dr. Sc. in Engineering, Prof., Head of Dep. of Computer Systems and Networks, National Aerospace University " Kharkiv Aviation Institute ", Kharkiv, Ukraine.