

ISSN 1991-3494

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Ш Ы С Ы

---

---

## ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## THE BULLETIN

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

1944 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ИЗДАЕТСЯ С 1944 ГОДА  
PUBLISHED SINCE 1944

1

---

АЛМАТЫ  
АЛМАТЫ  
ALMATY

2015

ҚАҢТАР  
ЯНВАРЬ  
JANUARY

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі

**М. Ж. Жұрынов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы :

биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Айтхожина Н.А.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байпақов К.М.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байтулин И.О.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Берсімбаев Р.И.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Газалиев А.М.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Дүйсенбеков З.Д.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Елешев Р.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; фил. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Нысанбаев А.Н.**; экон. ғ. докторы, проф., ҰҒА академигі **Сатубалдин С.С.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбжанов Х.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішева З.С.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Абсадықов Б.Н.** (бас редактордың орынбасары); а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Баймұқанов Д.А.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Байтанаев Б.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Давлетов А.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; геогр. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Медеу А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мырхалықов Ж.У.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Огарь Н.П.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Таткеева Г.Г.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Үмбетаев И.**

Р е д а к ц и я к е ñ е с і :

Ресей ҒА академигі **Велихов Е.П.** (Ресей); Әзірбайжан ҰҒА академигі **Гашимзаде Ф.** (Әзірбайжан); Украинаның ҰҒА академигі **Гончарук В.В.** (Украина); Армения Республикасының ҰҒА академигі **Джрбашян Р.Т.** (Армения); Ресей ҒА академигі **Лаверов Н.П.** (Ресей); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Москаленко С.** (Молдова); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Рудик В.** (Молдова); Армения Республикасының ҰҒА академигі **Сагян А.С.** (Армения); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Тодераш И.** (Молдова); Тәжікстан Республикасының ҰҒА академигі **Якубова М.М.** (Тәжікстан); Молдова Республикасының ҰҒА корр. мүшесі **Лупашку Ф.** (Молдова); техн. ғ. докторы, профессор **Абиев Р.Ш.** (Ресей); техн. ғ. докторы, профессор **Аврамов К.В.** (Украина); мед. ғ. докторы, профессор **Юрген Аппель** (Германия); мед. ғ. докторы, профессор **Иозеф Банас** (Польша); техн. ғ. докторы, профессор **Гарабаджиу** (Ресей); доктор PhD, профессор **Ивахненко О.П.** (Ұлыбритания); хим. ғ. докторы, профессор **Изабелла Новак** (Польша); хим. ғ. докторы, профессор **Полещук О.Х.** (Ресей); хим. ғ. докторы, профессор **Поняев А.И.** (Ресей); профессор **Мохд Хасан Селамат** (Малайзия); техн. ғ. докторы, профессор **Хрипунов Г.С.** (Украина)

Главный редактор

академик НАН РК

**М. Ж. Журинов**

Редакционная коллегия:

доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **Н.А. Айтхожина**; доктор ист. наук, проф., академик НАН РК **К.М. Байпаков**; доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **И.О. Байтулин**; доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **Р.И. Берсимбаев**; доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **А.М. Газалиев**; доктор с.-х. наук, проф., академик НАН РК **З.Д. Дюсенбеков**; доктор сельскохоз. наук, проф., академик НАН РК **Р.Е. Елешев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор фил. наук, проф., академик НАН РК **А.Н. Нысанбаев**; доктор экон. наук, проф., академик НАН РК **С.С. Сатубалдин**; доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Х.М. Абжанов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **З.С. Абишева**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.Н. Абсадыков** (заместитель главного редактора); доктор с.-х. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Д.А. Баймуканов**; доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.А. Байтанаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А.Е. Давлетов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор геогр. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А. Медеу**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.У. Мырхалыков**; доктор биол. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.П. Огарь**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Г.Г. Таткеева**; доктор сельскохоз. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **И. Умбетаев**

Редакционный совет:

академик РАН **Е.П. Велихов** (Россия); академик НАН Азербайджанской Республики **Ф. Гашимзаде** (Азербайджан); академик НАН Украины **В.В. Гончарук** (Украина); академик НАН Республики Армения **Р.Т. Джрбашян** (Армения); академик РАН **Н.П. Лаверов** (Россия); академик НАН Республики Молдова **С. Москаленко** (Молдова); академик НАН Республики Молдова **В. Рудик** (Молдова); академик НАН Республики Армения **А.С. Сагиян** (Армения); академик НАН Республики Молдова **И. Тодераш** (Молдова); академик НАН Республики Таджикистан **М.М. Якубова** (Таджикистан); член-корреспондент НАН Республики Молдова **Ф. Лупашку** (Молдова); д.т.н., профессор **Р.Ш. Абиев** (Россия); д.т.н., профессор **К.В. Аврамов** (Украина); д.м.н., профессор **Юрген Аппель** (Германия); д.м.н., профессор **Иозеф Банас** (Польша); д.т.н., профессор **А.В. Гарабаджиу** (Россия); доктор PhD, профессор **О.П. Ивахненко** (Великобритания); д.х.н., профессор **Изабелла Новак** (Польша); д.х.н., профессор **О.Х. Полещук** (Россия); д.х.н., профессор **А.И. Поняев** (Россия); профессор **Моход Хасан Селамат** (Малайзия); д.т.н., профессор **Г.С. Хрипунов** (Украина)

«Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан». ISSN 1991-3494

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5551-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 2000 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел. 272-13-19, 272-13-18.

www: nauka-nanrk.kz, bulletin-science.kz

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

Editor in chief

**M. Zh. Zhurinov**,  
academician of NAS RK

Editorial board:

**N.A. Aitkhozhina**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **K.M. Baipakov**, dr. hist. sc., prof., academician of NAS RK; **I.O. Baitulin**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **R.I. Bersimbayev**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **A.M. Gazaliyev**, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK; **Z.D. Dyusenbekov**, dr. agr. sc., prof., academician of NAS RK; **R.Ye. Yeleshev**, dr. agr. sc., prof., academician of NAS RK; **T.Sh. Kalmenov**, dr. phys. math. sc., prof., academician of NAS RK; **A.N. Nysanbayev**, dr. phil. sc., prof., academician of NAS RK; **S.S. Satubaldin**, dr. econ. sc., prof., academician of NAS RK; **Kh.M. Abzhanov**, dr. hist. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Z.S. Abisheva**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **B.N. Absadykov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **D.A. Baimukanov**, dr. agr. sc., prof., corr. member of NAS RK; **B.A. Baytanayev**, dr. hist. sc., prof., corr. member of NAS RK; **A.Ye. Davletov**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **A. Medeu**, dr. geogr. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.U. Myrkhalykov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **N.P. Ogar**, dr. biol. sc., prof., corr. member of NAS RK; **G.G. Tatkeeva**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **I. Umbetayev**, dr. agr. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

**E.P. Velikhov**, RAS academician (Russia); **F. Gashimzade**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **V.V. Goncharuk**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **R.T. Dzhrbashian**, NAS Armenia academician (Armenia); **N.P. Laverov**, RAS academician (Russia); **S.Moskalenko**, NAS Moldova academician (Moldova); **V. Rudic**, NAS Moldova academician (Moldova); **A.S. Sagiyan**, NAS Armenia academician (Armenia); **I. Toderas**, NAS Moldova academician (Moldova); **M. Yakubova**, NAS Tajikistan academician (Tajikistan); **F. Lupaşcu**, NAS Moldova corr. member (Moldova); **R.Sh. Abiyev**, dr.eng.sc., prof. (Russia); **K.V. Avramov**, dr.eng.sc., prof. (Ukraine); **Jürgen Appel**, dr.med.sc., prof. (Germany); **Joseph Banas**, dr.med.sc., prof. (Poland); **A.V. Garabadzhiu**, dr.eng.sc., prof. (Russia); **O.P. Ivakhnenko**, PhD, prof. (UK); **Isabella Nowak**, dr.chem.sc., prof. (Poland); **O.Kh. Poleshchuk**, chem.sc., prof. (Russia); **A.I. Ponyaev**, dr.chem.sc., prof. (Russia); **Mohd Hassan Selamat**, prof. (Malaysia); **G.S. Khripunov**, dr.eng.sc., prof. (Ukraine)

**Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.**  
**ISSN 1991-3494**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 5551-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 2000 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,  
<http://nauka-nanrk.kz/>, <http://bulletin-science.kz>

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

## THE APPLICATION OF NEURO-FUZZY CASCADE NETWORK IN PREDICTION SYSTEMS OF PATIENTS WITH CHRONIC RENAL FAILURE

O. Yu. Kuznetsova<sup>1</sup>, K. Mukapil<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Penza state university, Penza, Russia,

<sup>2</sup>Kazakh National Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: kaiyrkhan@mail.ru

**Key words:** chronic renal failure, cascading neuro-fuzzy network architecture of cascade neuro-fuzzy networks, fuzzy knowledge base.

**Abstract.** The application of neuro-fuzzy network with cascade architecture for constructing a prediction system of patients with chronic kidney disease is regarded. The network uses nodes with the ANFIS network and can be trained using optimization procedures. There has been made a study of the optimization algorithm of ANFIS networks using the method of sequential quadratic programming. The results of testing on the example of patients of the Penza Regional Clinical Hospital named after N. N. Burdenko showed a five time decrease of diagnostic errors.

УДК 004.032.26

## ПРИМЕНЕНИЕ КАСКАДНОЙ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ СЕТИ В СИСТЕМАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ БОЛЬНЫХ С ХРОНИЧЕСКОЙ ПОЧЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ

О.Ю. Кузнецова<sup>1</sup>, К. Мукапил<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>2</sup>Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** хроническая почечная недостаточность, каскадные нейро-нечеткие сети, архитектура каскадной нейро-нечеткой сети, нечеткая база знаний.

**Аннотация.** Рассматривается применение нейро-нечеткой сети с каскадной архитектурой для построения системы прогнозирования состояния больных с хронической почечной недостаточностью. Данная сеть использует узлы с сетью ANFIS и может быть обучена с помощью процедур оптимизации. Проведено исследование алгоритма оптимизации сети ANFIS с использованием метода последовательного квадратичного программирования. Результаты тестирования на примере пациентов Пензенской областной клинической больницы имени Н. Н. Бурденко показали уменьшение погрешности диагностики в пять раз.

**Введение.** Синдром эндогенной интоксикации (СЭИ) является одним из наиболее распространенных в клинической практике и характеризуется накоплением в тканях биологических продуктов, которые представляют собой результат реагирования на повреждающий фактор [1, 2]. Распространенным случаем СЭИ является хроническая почечная недостаточность (ХПН). По данным крупных популяционных регистров [1], таких как US Renal Data System и Российский регистр заместительной почечной терапии, распространенность хронической болезни почек (ХБП) составляет не менее 10%, достигая 20% и более у отдельных категорий лиц (пожилые, больные сахарным диабетом второго типа). Для сравнения: хроническая сердечная недостаточность

встречается у 1% населения, бронхиальная астма у 5% взрослого населения, сахарный диабет – у 4-10%. Признаки повреждения почек и снижение скорости клубочковой фильтрации выявляют, как минимум, у каждого десятого представителя общей популяции. При этом сопоставимые цифры были получены как в индустриальных странах с высоким уровнем жизни, так и в развивающихся странах со средним и низким доходом населения. Таким образом, задача ранней диагностики синдрома эндогенной интоксикации имеет большое значение. Задача ранней диагностики СЭИ затруднена сложностью использования специфических маркеров токсикоза. Для диагностики СЭИ существуют различные лабораторные методы, однако они являются дорогостоящими, в связи с чем встает задача создания менее дорогостоящих и более доступных методов диагностики [3]. Поэтому необходимо создавать менее дорогостоящие и более доступные методы диагностики.

**Постановка задачи.** Для обработки биомедицинских данных используют формальные методы, среди которых одними из наиболее популярных являются нейросетевые. Нейронные сети имеют возможность обучаться и обобщать накопленные знания и используются для задач классификации образов, распознавания, идентификации, прогнозирования, но не дают ответа на вопрос, как осуществляются эти процессы. Этот недостаток нейронных сетей решается в системах с нечетким выводом, в основе которых лежат понятия теории нечетких множеств и нечеткой логики [5].

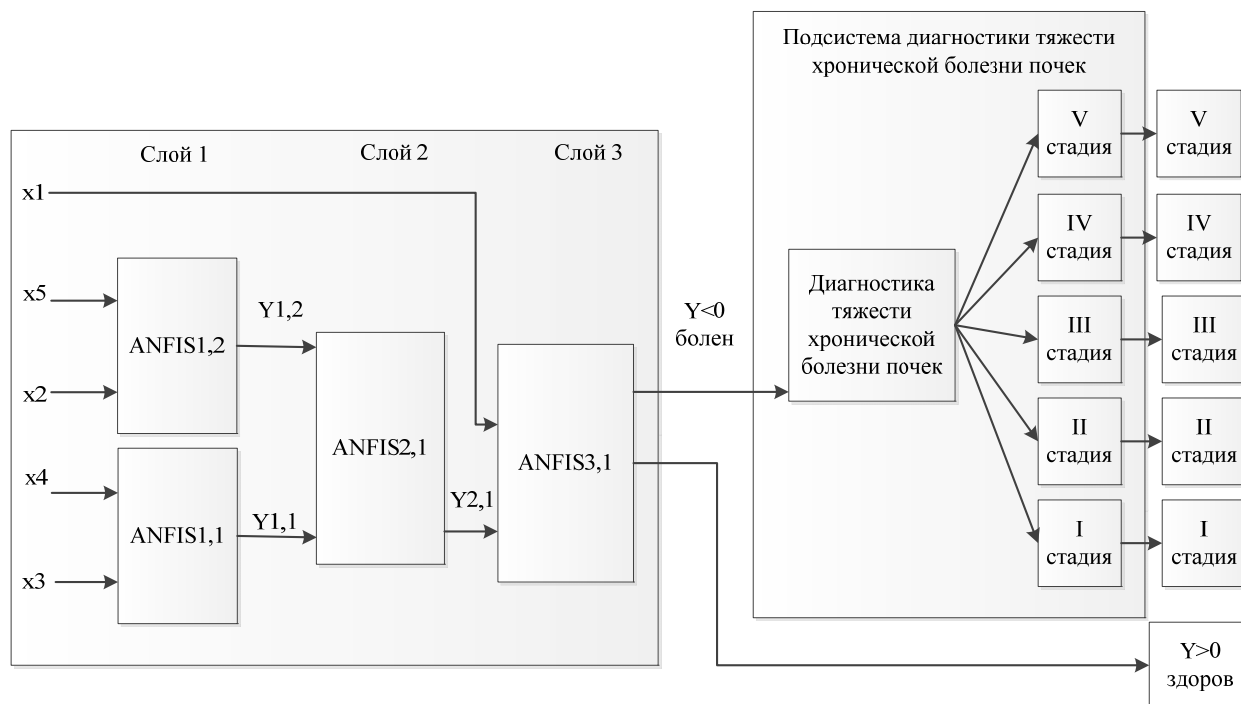
Системы с нечетким выводом позволяют объяснить получаемый с их помощью результат, позволяют закладывать в информационное поле априорный опыт врачей-экспертов, но они не имеют возможности обучаться и обобщать накопленные знания.

От перечисленных недостатков свободны системы на основе нейро-нечетких сетей. Выводы нейро-нечеткая сеть делает на основе базы знаний, в которой заключен априорный опыт эксперта, а параметры функций принадлежности настраиваются с использованием алгоритмов обучения нейронных сетей. В настоящей работе предпринимается попытка синтеза двух выше перечисленных сетей в каскадной нейро-нечеткой сети.

**Разработка диагностической системы.** Первоначально определяются входные переменные. Ими являются пять отобранных показателей – это общий белок, мочевины, креатинин, альбумины, билирубин. Единственным выходом сети является признак «больной-здоровый». Признак «здоровый» кодировался значением выхода  $y = 1$ , признак «больной» кодировался значением выхода  $y = -1$ . Таким образом, разрабатывалась модель нейро-нечеткой сети состояния пациента в зависимости от пяти показателей:  $x_1$  – общий белок,  $x_2$  – билирубин,  $x_3$  – мочевины,  $x_4$  – креатинин,  $x_5$  – альбумины.

Структура адаптивной нейро-нечеткой сети (ANFIS) постоянна и зависит от количества входов. Так, для ANFIS с двумя входами имеем 28 настраиваемых коэффициентов, а с пятью – 232. Это ограничение для применения ANFIS с большим количеством входных параметров и малым количеством обучающих данных. Для сокращения числа настраиваемых коэффициентов разработана нейро-нечеткая сеть, имеющая каскадную архитектуру (рисунок). Данная сеть использует узлы с сетью ANFIS и может быть обучена с помощью процедур оптимизации, также сеть дополнена слоем, на котором определяется тяжесть ХБП.

В древовидной структуре в процессе поиска решения каждый узел дерева, начиная с листьев, помечается как решенная задача, если какая-нибудь подзадача либо все подзадачи решены. Процесс поиска продолжается до тех пор, пока не будет помечен корень дерева, т.е. решена исходная задача. Каждая вершина условия содержит некоторое высказывание, которое может принимать значения «Высокий уровень», «Средний уровень» или «Низкий уровень» входной переменной. Вершина вывода содержит одно или несколько предложений, описывающих некоторое промежуточное или окончательное заключение в виде набора показателей (соответствует выходам «здоровый» или «больной»). Корень дерева обозначается как вершина условия, содержащая высказывание, с которого начинается процесс логических рассуждений.



Структура каскадной нейро-нечеткой сети для диагностики СЭИ

Структура сети включает входной (нулевой) слой с внешними  $n$ -признаками и последующими  $k$ -слоями, каждый слой имеет  $m$  узлов. Количество слоев и узлов в каждом слое определяется по следующим формулам, пока не выполняются условия  $t_k = 0$  и  $m_k = 1$  :

$$m_1 = \frac{m_0 - t_1}{d}, \quad m_2 = \frac{m_1 + t_1 - t_2}{d}, \quad m_3 = \frac{m_2 + t_2 - t_3}{d}, \quad \dots, \quad m_k = \frac{m_{k-1} + t_{k-1} - t_k}{d},$$

$$M = [m_1, m_2, \dots, m_k], \quad m_0 = l.$$

где  $k$  – количество слоев в диагностической системе;  $m_k$  – число, округленное до меньшего целого от деления  $(m_k/d)$  и определяющее количество узлов в  $k$ -слое;  $t_k = m_{k-1} - dm_k$  – остаток от деления, определяющий количество незадействованных признаков в  $k$ -слое, переходящих на следующий слой.

Таким образом, создается сходящаяся каскадная структура, в которой выходы узлов слоя являются входами для следующего слоя. Узлом каскадной нейро-нечеткой сети является сеть ANFIS с заданным количеством входов  $d$ .

На каждый узел слоя должны последовательно подаваться группы диагностических признаков:

$$X_{i,j} = (x_1, x_2, \dots, x_d)_{i,j}, \quad i = \overline{1, 2, \dots, k}, \quad j = \overline{1, 2, \dots, m_i}$$

При формировании групп диагностических признаков используются следующие правила:

– признаки объединяются в группу, если они «не предсказывают» друг друга, т.е. когда они имеют наименьшие значения корреляции;

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

где  $x_i$  – значения, принимаемые в выборке  $X$ ,  $y_i$  – значения, принимаемые в выборке  $Y$ ,  $\bar{x}$  – средняя по  $X$ ,  $\bar{y}$  – средняя по  $Y$ .

- каждый признак (диагностический) используется только в одном слое и только один раз;
- признаки (диагностические), которые не входят в группу в верхнем слое, подаются на нижние слои.

В качестве типового узла сети выступает сеть ANFIS  $G_{i,j}(u)$  с набором правил. Ее параметры настраиваются при обучении известными методами оптимизации [6], соблюдая правила [7]:

- слои обучаются последовательно от первого к последнему;
- узлы в отдельном слое обучаются параллельно, причем на вход подается поставленная в соответствие группа, а на выход – вектор-столбец диагнозов.

Векторы-столбцы  $g_{i,j}$ , полученные при пересчете обученной сети  $G_{i,j}(u)$  по заданной группе  $(x_1, x_2, \dots, x_d)_{i,j}$ , являются внутренними признаками, формирующими группы для ниже образующихся узлов. Выходом системы является выход сети последнего слоя.

Так как узлами каскадной нейро-нечеткой сети являются сети ANFIS, необходимо провести настройку их параметров. Особенностью сети ANFIS является то, что каждое правило нечетких продукций имеет постоянный весовой коэффициент равный 1. В данной работе параметры функций принадлежности входных переменных (показатели крови общего и биохимического анализов) подстраивать нельзя, так как это приведет к неверному диагнозу. Под обучением нейро-нечеткой сети понимается настройка параметров функций принадлежности и нечетких правил с помощью методов оптимизации. Особенностью обучения нейро-нечеткой сети ANFIS для диагностики синдрома эндогенной интоксикации на примере хронической почечной недостаточности является запрет изменения термов входных переменных «Общий белок», «Альбумины», «Мочевины» и «Креатинина», «Билирубин», что гарантирует правильную постановку диагноза.

Настройка сети ANFIS представляет собой нахождение весовых коэффициентов заключений правил. Процедура настройки по ошибке сети ANFIS на обучающей выборке модифицирует весовые коэффициенты. Тогда настройка сети ANFIS сводится к задаче оптимизации. Проведено исследование алгоритма оптимизации сети ANFIS с использованием метода последовательного квадратичного программирования (SQP – Sequential quadratic programming) с ограничениями. Настройка сети ANFIS рассматривается как задача параметрической оптимизации с ограничениями: требуется найти вектор  $w$ , обеспечивающий  $f(w) \rightarrow \min$  при ограничениях  $0 \leq g_i(w) \leq 1$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), где  $w$  – вектор оптимизируемых параметров (весовых коэффициентов правил),  $f(w)$  – результат вывода по нечеткой базе знаний Сугено с параметрам ( $w$ ) для входного вектора,  $g_i(w)$  – некоторые скалярные функции векторного аргумента.

При выходе из подсистемы диагностики СЭИ с результатом «болен» происходит переход в подсистему диагностики тяжести хронической болезни почек (см. рисунок). Критерием тяжести является скорость клубочковой фильтрации (СКФ), которая рассчитывается по известным формулам СКД-EPI (Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration), справедливым на любой стадии хронической болезни почек у представителей всех четырех рас [4].

**Заключение.** Завершив построение и обучение каскадной нейро-нечеткой сети, проведем оценку качества ее функционирования, вычисляя ошибки по каждому из ее узлов. Ошибкой сети будем считать неверно поставленный диагноз относительно «истинного» значения, т.е. известного врачебного диагноза. Исследования проводились на тех же выборках, что и ранее.

Тестирование каскадной нейро-нечеткой сети показало, что ошибка составила 1,7% на данных о больных с хронической почечной недостаточностью в терминальной стадии. Из них 0,7 % ошибка первого рода. Ошибку первого рода часто называют ложной тревогой, ложным срабатыванием или ложноположительным срабатыванием – например, анализ крови показал наличие заболевания, хотя на самом деле человек здоров.

Соответственно, ошибку второго рода иногда называют пропуском события или ложноотрицательным срабатыванием – человек болен, но анализ крови этого не показал.



Каскадная нечеткая нейронная сеть на данных о больных в ранней стадии хронической почечной недостаточности дает ошибку 11,8%, из них 1,8 % ошибка первого рода.

Таким образом, предложенная структура каскадной нейро-нечеткой сети позволила в пять раз уменьшить погрешность диагностики.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] US Renal Data System, USRDS 2009 Annual Data Report: atlas of end-stage renal disease in the United States, National Institutes of Health, National Institutes of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, 2009.
- [2] Малахова М.Я. Метод регистрации эндогенной интоксикации: Пособие для врачей. – СПб.: Изд-во СПб МАПО, 1995. – 34 с.
- [3] Капустин Б.Б. Способы определения степени эндогенной интоксикации у больных абдоминальным сепсисом // Труды международного конгресса «Новые технологии в хирургии». – Ростов на Дону, 2005. – С. 47.
- [4] Levey A.S. CKD-EPI (Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration). A New Equation to Estimate Glomerular Filtration Rate / AS Levey, LA Stevens, CH Schmid, YL Zhang, AF Castro 3rd, HI Feldman, JW Kusek, P Eggers, F Van Lente, T Greene, J Coresh. Ann Intern Med. – 2009, 150:604-12.
- [5] Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс] / С.Д. Штовба. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/>
- [6] Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс / Б. Банди; Под ред. В. А. Волынского. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
- [7] Безруков Н.С. Построение и моделирование адаптивной нейро-нечеткой системы в задачах медицинской диагностики / Н.С. Безруков, Е.Л. Еремин. – Информатика и системы управления. – 2005. – № 2(10). – С. 36-46.

#### REFERENCES

- [1] US Renal Data System, USRDS 2009 Annual Data Report: atlas of end-stage renal disease in the United States, National Institutes of Health, National Institutes of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, 2009.
- [2] Malakhova M.Ya. Method of registration of endogenous intoxication: A grant for doctors. SPb.: Publishing house of SPb of MAPO, 1995. 34 s.
- [3] Kapustin B.B. Ways of definition of degree of endogenous intoxication at patients with abdominal sepsis. Works of the international congress "New technologies in surgery". Rostov on Don, 2005. P. 47.
- [4] Levey A.S. CKD-EPI (Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration). A New Equation to Estimate Glomerular Filtration Rate. AS Levey, LA Stevens, CH Schmid, YL Zhang, AF Castro 3rd, HI Feldman, JW Kusek, P Eggers, F Van Lente, T Greene, J Coresh. Ann Intern Med. 2009. 150:604-12.
- [5] Shtovba S.D. Introduction to the theory of indistinct sets and fuzzy logic [An electronic resource]. S. D. Shtovba. Access mode: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/>
- [6] Bandi B. Optimization methods. Introduction course. B. Bandi; under the editorship of V. A. Volynsky. M.: Radio and communication, 1988. 128 p.
- [7] Bezrukov, N. S. Construction and modeling of adaptive neuro and indistinct system in problems of medical diagnostics. N. S. Bezrukov, E.L. Eremin. Informatics and control systems. 2005. N 2(10). P. 36-46.

### БҮЙРЕК ЖҰМЫСЫНЫҢ ЖЕТКІЛІКСІЗ СОЗЫЛМАЛЫ АУЫРУЫН БОЛЖАУ ЖҮЙЕСІНДЕ КАСКАДТЫ АНЫҚ ЕМЕС - НЕЙРО ЖЕЛІСІН ҚОЛДАНУ

О. Ю. Кузнецова<sup>1</sup>, К. Мукапил<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Пенза мемлекеттік университеті, Пенза, Ресей

<sup>2</sup>Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** бүйрек жұмысының жеткіліксіз созылмалы ауыруы, каскадты анық емес – нейро желісі, каскадты анық емес - нейро желісінің архитектурасы.

**Аннотация.** Мақалада бүйрек жұмысының жеткіліксіз созылмалы ауыруымен ауыратын емделушілердің жағдайын болжау жүйесін құруда, каскадты анық емес – нейро желіні қолдану қарастырылған. Н. Н. Бурденко атындағы Пенза облыстық клиникалық ауруханасында өткізілген емделушілерді тестілеу нәтижесі каскадты анық емес – нейро желісін қолдану арқылы диагностикалық кемшіліктерді 5 есе азайтуға болатындығын көрсетті.

Поступила 15.01.2015 г.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

[bulletin-science.kz](http://bulletin-science.kz)

Редакторы *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов*  
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 29.01.2015.  
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
10,7 п.л. Тираж 2000. Заказ 1.