

УДК 004.89

А.М. Ахметвалеев, А.С. Катасёв

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

*Ахметвалеев Амир Муратович, окончил факультет технической кибернетики и информатики Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ. Аспирант КНИТУ-КАИ. Имеет научные труды в области математического моделирования, анализа данных и машинных методов обучения. [e-mail: amir.akhmetvaleev@gmail.com].*

*Катасёв Алексей Сергеевич, кандидат технических наук, окончил физико-математический факультет Елабужского государственного педагогического института. Доцент кафедры «Системы информационной безопасности» КНИТУ-КАИ. Имеет научные труды в области математического моделирования, анализа данных и разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений. [e-mail: Kat\_726@mail.ru].*

### Аннотация

В данной статье актуализируется необходимость определения функционального состояния человека. Ее решение основано на применении метода пупиллометрии, позволяющего судить о состоянии человека по его зрачковой реакции на изменение освещенности. С целью автоматизации процессов определения функционального состояния человека разрабатывается инструментальный комплекс программ, основанный на использовании нейросетевой модели. Описываются его структура, состав и характеристики компонентов. Рассматривается функционирование программного комплекса на примере работы модулей построения нейросетевой модели, оценки ее точности на основе метода бутстрэпирования, структурной оптимизации модели, а также определения функционального состояния человека. На базе комплекса программ проведен ряд исследований и экспериментов. Представлены результаты влияния числа этапов бутстрэпирования на точность нейросетевой модели, результаты редукции нейронных сетей, сравнения точности модели с точностью других методов классификации. Результаты исследований показали эффективность нейросетевой модели и возможность ее практического использования для определения функционального состояния человека в различных предметных областях.

Ключевые слова: функциональное состояние человека, пупиллометрия, нейросетевая модель, генетический алгоритм, бутстрэпирование.

## INSTRUMENTAL SOFTWARE COMPLEX FOR AUTOMATION TO DETERMINE THE FUNCTIONAL STATE OF INTOXICATION OF A PERSON

*Amir Muratovich Akhmetvaleev, Postgraduate Student of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI; graduated from the Faculty of Technical Cybernetics and Informatics of the Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev-KAI; an author of scientific works in the field of mathematical modelling, data analysis and machine learning methods. e-mail: amir.akhmetvaleev@gmail.com.*

*Aleksei Sergeevich Katasev, Candidate of Engineering; graduated from the Faculty of Physics and Mathematics of Elabuga State Pedagogical Institute; Associate Professor of the Information Security Systems Department of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI; an author of scientific works in the field of mathematical modelling, data analysis and development of intelligent decision support systems. e-mail: Kat\_726@mail.ru.*

### Abstract

This article actualizes the need to determine the functional state of a person. Its decision is based on the application of the pupillometry method, which allows to determine the state of a person by his pupillary reaction to light changes. In order to automate the processes of determining the functional state of a person, an instrumental program complex is developed, based on the use of the neural network model. Its structure, composition and characteristics of components

are described. The functioning of the program complex is considered on the example of the modules of neural network model construction, estimation of its accuracy on the basis of bootstrapping method, structural optimization of the model, and determining the functional state of a person. A number of researches and experiments were conducted on the basis of the program complex. The results of the influence of the number of stages of bootstrapping on the accuracy of the neural network model, the results of reduction of neural networks, the comparison of the accuracy of the model with the accuracy of other classification methods are presented. The results of the research showed the effectiveness of the neural network model and the possibility of its practical use to determine the functional state of the person in various subject areas.

Key words: human functional state, papillometry, neural network model, genetic algorithm, bootstrapping.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в различных предметных областях для решения многих практических задач требуется определение функционального состояния (ФС) человека [1–9]. Примерами являются различные задачи медицинской диагностики [3, 5, 10], психодиагностики [4], безопасности жизнедеятельности и труда, связанного с управлением сложными техническими системами и др. Среди различных ФС выделяются отдельные состояния человека, вызванные интоксикацией психоактивными веществами (ПАВ). С точки зрения действующего законодательства [11, 12] существуют ограничения по нахождению людей в таком состоянии в общественных местах, управлению служебным и личным автотранспортом, выполнению отдельных видов деятельности, связанных с повышенным риском для жизни.

Организм человека является сложной системой, что предполагает использование нетривиальных методов классификации ФС, соответствующих задачам той или иной предметной области. Так, для задач, связанных с определением ФС при интоксикации ПАВ, принято анализировать зрачково-двигательную реакцию глаза человека на изменение освещенности [1–4, 7], используя метод пупиллометрии [5–7, 13–15]. Известно, что у здорового человека при увеличении яркости света зрачки сужаются, а при уменьшении расширяются. В состоянии интоксикации ПАВ естественные рефлекс человека изменяются: интенсивность зрачковой реакции уменьшается, а сами зрачки максимально сужены или расширены.

Однако эффективное применение метода пупиллометрии не всегда возможно ввиду существенных материально-технических и временных затрат, требований к высокой квалификации специалистов и наличия человеческого фактора при принятии решений. Существуют предметные области (например, общественная безопасность, транспортная безопасность), для которых актуально автоматизировать процесс определения ФС человека на основе разработки и использования новых эффективных методов, моделей и алгоритмов.

## Постановка задачи определения ФС человека

В пупиллометрической диагностике динамика изменений размера зрачка, как реакция на световое импульсное воздействие, представляется в виде пупиллограммы – временного ряда, характеризующегося различными параметрами (см. рис. 1).

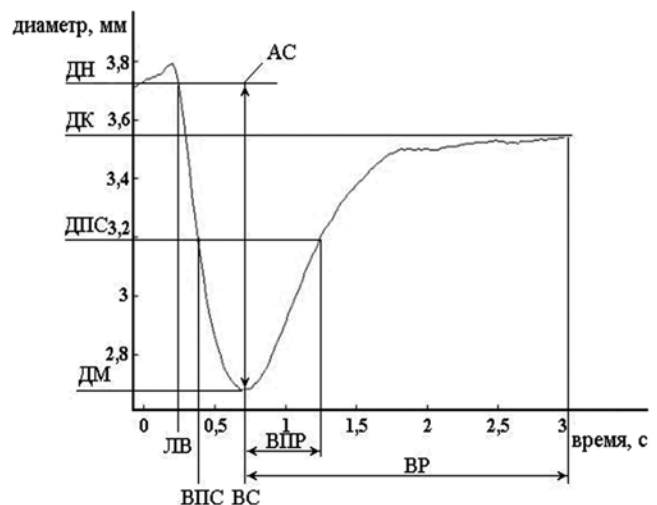


Рис. 1. Пример пупиллограммы и ее параметров

На рисунке 1 представлен пример пупиллограммы здорового человека. По оси абсцисс отмечен интервал времени (в секундах) для регистрации зрачковой реакции. По оси ординат отмечены значения диаметра зрачка человека (в миллиметрах). Также на рисунке указаны основные параметры зрачковой реакции [5, 10]: ДН – диаметр начальный, ДМ – диаметр минимальный, ДПС – диаметр половинного сужения, ДК – диаметр конечный, АС – амплитуда сужения, СС – скорость сужения, СР – скорость расширения, ЛВ – латентное время реакции, ВС – время сужения, ВР – время расширения, ВПС – время половинного сужения, ВПР – время половинного расширения. По значениям данных параметров можно определить класс ФС человека: «норма» или «отклонение», что соответствует задаче бинарной классификации. Для построения классификатора необходимо сформировать исходные данные, пример которых представлен в таблице 1.

В таблице 1 приведены значения параметров пупиллограмм и соответствующих им классов ФС человека: 0 – «норма» или 1 – «отклонение». В качестве нормы подразумевается ФС здорового человека, не употреблявшего ПАВ, с естественной зрачковой реакцией. «Отклонение» будет характеризовать ФС человека, находящегося под воздействием ПАВ (в состоянии интоксикации).

Необходимо отметить, при невысокой детализации изображений зрачков снижается качество исходных данных (появляются аномалии, выбросы и пропущен-

Пример значений параметров пупиллограмм

№	$D_0$	$D_{min}$	$D_{ps}$	$D_k$	$A_s$	$V_s$	$V_r$	$t_l$	$t_s$	$t_r$	$t_{ps}$	$t_{pr}$	Класс ФС
1	5,368	3,993	4,68	5,176	1,375	2,551	0,524	0,205	0,538	2,256	0,228	1,047	0
2	5,538	4,01	4,769	5,393	1,538	2,837	0,62	0,21	0,541	2,245	0,233	1,044	0
3	5,37	4,136	4,753	5,192	1,234	2,233	0,473	0,216	0,552	2,231	0,238	1,035	0
4	2,64	2,615	2,627	2,6	0,025	0,074	0,006	0,247	0,336	2,415	0,13	1,115	1
5	2,61	2,556	2,583	2,565	0,054	0,152	0,003	0,237	0,353	2,409	0,141	1,124	1
6	7,05	6,728	6,889	6,857	0,322	0,624	0,057	0,252	0,515	2,231	0,212	1,039	1

ные значения в пупиллограммах) [16]. При этом применение традиционных для пупиллометрии статистических методов анализа становится неэффективным. Для построения модели определения ФС на основе анализа значений параметров пупиллограмм в указанных условиях актуально использовать нейронные сети (НС), эффективность которых обусловлена их универсальной аппроксимирующей способностью и возможностью получения устойчивых результатов в условиях невысокого качества исходных изображений [8, 17, 18]. Это позволяет на их основе решать практические задачи с высокой степенью точности [19–23]. Использование НС также позволяет автоматизировать процессы определения ФС человека без необходимости экспертной интерпретации.

Известно, что при построении НС-моделей возникает нетривиальная задача выбора ее архитектуры с точки зрения числа слоев и нейронов в каждом слое [21–23]. Как правило, изначально выбирается избыточная структура сети [24], а затем ее параметры уточняются путем редукции на основе генетического алгоритма (ГА) [22, 23].

Для решения задачи определения ФС человека потребовалась разработка:

- 1) методики сбора и подготовки исходных данных к анализу [25];
- 2) НС-модели определения ФС человека [26], методики ее построения, а также численного метода и алгоритма редукции для оптимизации ее структуры [27];
- 3) инструментального комплекса программ, реализующего предложенные методики, модель, метод и алгоритм.

Для построения эффективной НС-модели, состоящей из коллектива нейронных сетей (КНС), использованы методы бутстрэпирования [17, 28], ROC-анализа [17, 29], а также специально разработанный метод редукции НС, основанный на ГА [27]. На базе данных методов реализован инструментальный комплекс программ. Для его исполнения выбран язык программирования С#, входящий с состав объектно-ориентированной среды разработки Microsoft Visual Studio Professional 2013.

#### ОПИСАНИЕ РАЗРАБОТАННОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ

Разработанный программный комплекс имеет модульную структуру и состоит из трех программ, отвечающих за анализ видеоизображений и формирование данных зрачковой реакции, определение ФС человека и построение НС-моделей. На рисунке 2 представлена обобщенная структура инструментального комплекса программ.

Программа анализа изображений и формирования данных состоит из двух модулей, отвечающих за получение и анализ видеоизображений и формирование данных зрачковой реакции (в них реализованы функции по локализации и выделению глаз, определению размеров зрачков, оценке качества и сглаживанию пупиллограмм, вычислению значений их параметров и формированию таблицы данных). Программа для построения НС-моделей состоит из двух модулей и предназначена для построения моделей КНС, оценки их адекватности, редукции и проведения численно-параметрических ис-



Рис. 2. Структура инструментального комплекса программ

следований. Программа определения ФС человека служит для формирования результата на выходе модели КНС на основе поступающих на ее вход значений.

### ПРИМЕР ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НС-МОДЕЛЕЙ

Рассмотрим функционирование инструментального комплекса программ на примере программы для построения НС-моделей. Ее работа начинается с этапа загрузки данных, преднастройки основных параметров структуры НС-модели и используемых входных данных. Кроме того, реализована возможность загрузки ранее созданной модели, а также ее сохранения после модификации. На рисунке 3 представлено главное окно программы.

В окне имеется возможность создания НС-модели произвольной структуры, выбора входных параметров

в наборе данных с автоматическим или ручным разделением на обучающую и тестовую выборки. В таблице, представленной в главном окне программы, показываются текущие загруженные наборы данных, используемые для обучения и тестирования НС-модели. В блоке информации выводятся основные характеристики наборов данных и структуры НС. В рассматриваемом случае загруженные наборы данных состоят из двух множеств: обучающего, содержащего 1074 строки, и тестового, содержащего 123 строки. При этом количество входных параметров модели «Input» составляет 12 значений, что соответствует полному количеству параметров зрачковой реакции человека, используемому для определения ФС человека.

Для обучения НС необходимо перейти в окно «обучение» (см. рис. 4).

В данном окне перед обучением НС-модели необходимо задать точку отсечения классов решений, а также

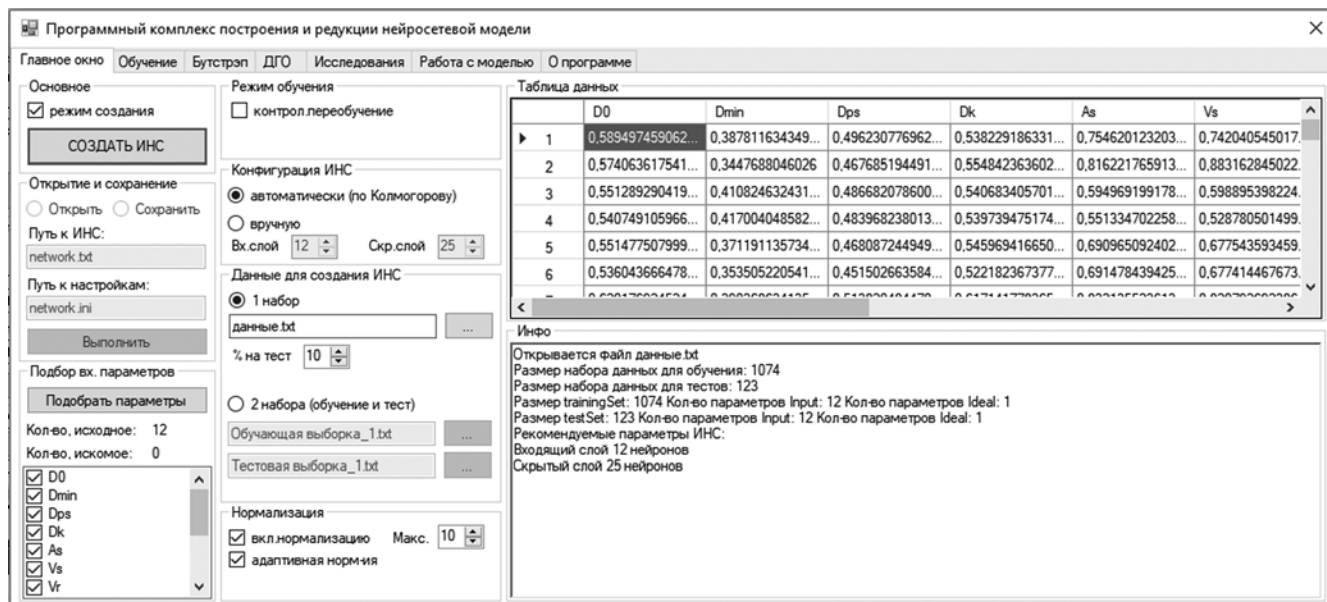


Рис. 3. Внешний вид главного окна программы

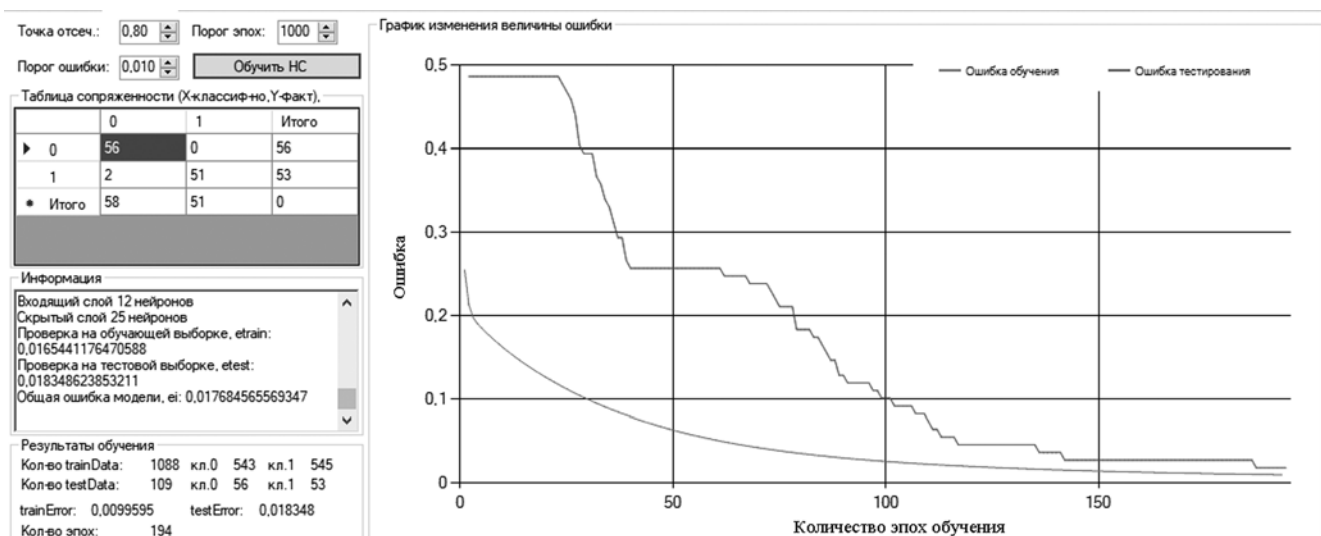


Рис. 4. Внешний вид окна обучения НС-модели

условия остановки обучения (величину достигаемого порога ошибки обучения и число эпох обучения). Также есть возможность визуализации процесса обучения. При этом на нижнем графике (гладкая линия) показывается изменение величины ошибки обучения НС, а на верхнем (ломаная кривая) – величина тестовой ошибки. Оценка работы НС на тестовых данных необходима для контроля переобучения НС-модели.

При нажатии на кнопку «Обучить НС» запускается процесс обучения и тестирования НС-модели на соответствующих выборках данных. На представленном примере итоговая ошибка обучения «trainError» составила 0,9%, а ошибка тестирования «testError» – 1,8%.

Для оценки точности модели использован метод 0,632-бутстрэпа [28]. Данный метод реализован в окне «бутстрэп», представленном на рисунке 5.

После выбора количества итераций бутстрэпирования по нажатию кнопки «Старт» производится оценка адекватности модели. Приводятся результаты оценки

ошибки модели в виде таблицы, в которой для каждой итерации представлены значения ошибок классификации для обучающей и тестовой выборок, а также общая ошибка модели. Как показано на рисунке, усредненная ошибка модели составляет 2%.

Для повышения точности и сокращения размерности структуры исходной модели в программе реализован метод редукции, основанный на алгоритме двухэтапной генетической оптимизации (ДГО) [26, 27] (см. рис. 6).

В данном окне задаются основные параметры редукции: вероятность мутации генов, начальное количество хромосом, условие остановки алгоритма, выбор метода скрещивания. После нажатия кнопки «Старт» запускается этап редукции НС-модели. Скорость редукции зависит от структуры НС, выбранных параметров редукции и производительности аппаратной платформы. Так для 12-ти входных параметров НС-модели и при наборе данных объемом 1200 строк среднее время редукции ориентировочно составляет от 1 до 2 часов.

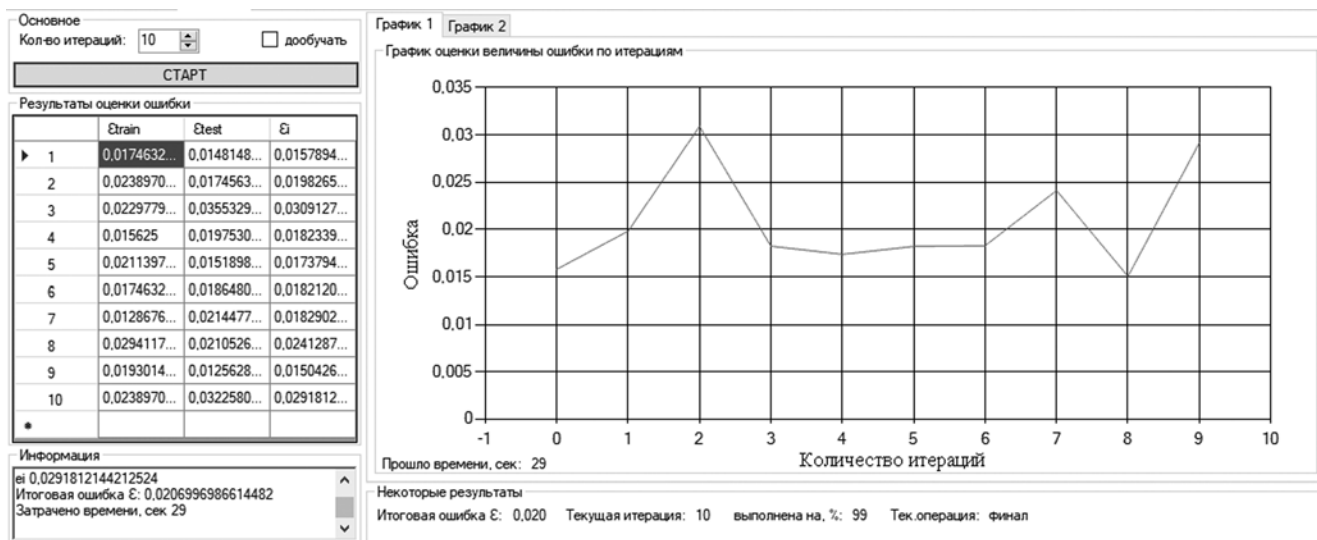


Рис. 5. Внешний вид окна бутстрэпирования

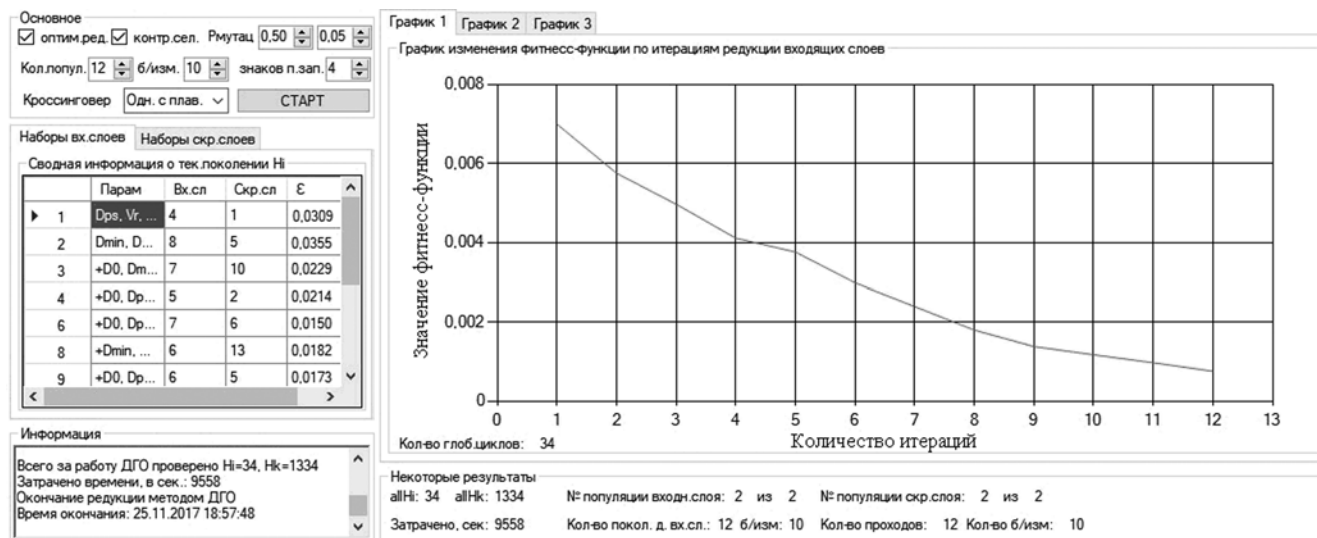


Рис. 6. Внешний вид окна редукции НС-модели

По завершении редукции в окне информации выводятся данные о лучшем найденном коллективе НС (модели КНС), приводится число нейронов входного и скрытого слоев, значение ее фитнес-функции, затраченное на редукцию время и другие данные. После определения лучшей модели КНС в главном окне программы активируется возможность сохранения модели и ее основных параметров. Таким образом, на данном этапе завершается функционирование программы построения НС-моделей.

### ПРИМЕР ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФС ЧЕЛОВЕКА

Определение ФС человека на базе разработанной модели может производиться в двух программах: определения ФС человека и построения НС-моделей. В первом случае определение ФС человека производится на данных, в которых класс решения неизвестен. Во втором случае характерно определение ФС по наборам данных, имеющим выходной класс решения. Это дает возможность дополнительной проверки точности классификации.

Рассмотрим пример определения ФС человека на базе первого случая (см. рис. 7).

Определение ФС человека производится на базе модели КНС. В качестве значений ее входных параметров могут выступать данные, введенные как вручную, так и из файла. Во втором случае производится анализ каждой выборки с цветовой маркировкой распознанного класса как «норма» или «отклонение». Программа ведет автоматический подсчет распознанных классов для удобства дальнейшего анализа результатов и принятия решений.

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛИ КНС

Для оценки эффективности модели КНС использованы данные пупиллометрии. Кроме того, часть выборки

подвергалась аугментации – генерации новых наборов данных путем внесения различных искажений в существующие наборы. Результирующая выборка данных составила 1200 записей по 600 записей каждого класса.

На базе разработанного инструментального комплекса программ проведен ряд исследований и экспериментов. В частности, проводилось исследование влияния числа этапов бутстрэпирования на точность исходной модели КНС (см. рис. 8).

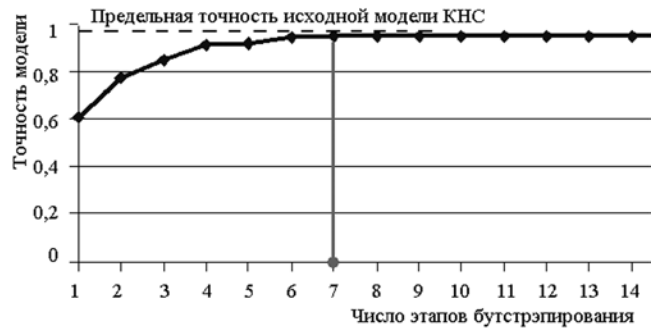


Рис. 8. Зависимость точности модели КНС от числа этапов бутстрэпирования

Следовательно, для построения модели КНС необходимо и достаточно семи этапов бутстрэпирования, что определяет количество НС в модели КНС, равное семи ( $N=7$ ).

Рассмотрим результаты оценки эффективности редукции НС (см. табл. 2).

Из таблицы 2 видно, что в эксперименте № 5 получен набор параметров модели КНС, при котором достигается максимальная ее точность (96,7%). Таким образом, каждая НС в структуре модели состоит из 8 нейронов входного слоя с набором параметров  $D_0$ ,  $D_{min}$ ,  $D_{ps}$ ,  $D_k$ ,  $A_s$ ,  $t_p$ ,  $t_s$ ,  $t_{pr}$  и 10 нейронов скрытого слоя.

	Param0	Param1	Param2	Param3	Param4	Param5	Pa ^
13	0.980801807	0.996377584	0.992260529	0.970171795	0.355749487	0.37184167	0.3
14	0.927348014	0.987428084	0.959493416	0.917689258	0.231519507	0.243351407	0.1
15	0.902315076	0.92094609	0.914765303	0.88559562	0.323408624	0.329367803	0.2
16	0.887634105	0.986575751	0.937883204	0.884462904	0.125256674	0.128646853	0.1
17	0.936194241	0.923929256	0.93426475	0.920709836	0.40862423	0.425723643	0.3
18	0.885187276	0.946729171	0.917780681	0.885406834	0.214579055	0.214482515	0.2
19	0.553924337	0.393991051	0.480148759	0.551255428	0.642710472	0.647146851	0.6
20	0.616224355	0.413381632	0.522565082	0.612044554	0.765913758	0.741190231	0.7
21	0.639563335	0.370551886	0.514825611	0.624504436	0.93275154	0.921555444	0.9
22	0.625258799	0.425740465	0.533219419	0.608268831	0.760780287	0.729603211	0.7
23	0.641257293	0.372043469	0.516433812	0.632999811	0.933778234	0.926753246	0.9
24	0.6220591	0.36565097	0.503166147	0.620539928	0.896817248	0.868158449	0.9

Рис 7. Внешний вид окна программы определения ФС человека

Результаты редукции НС

№	Входные параметры модели	Кол-во		Точность модели, %	Число этапов $GA_1 / GA_2$	Время редукции, в мин.
		вх. нейр.	скр. нейр.			
1	$D_0, D_{min}, D_{ps}, V_s, t_p, t_s, t_{ps}, t_{pr}$	8	11	96,2	20/492	40
2	$D_{min}, D_{ps}, A_s, t_p, t_s, t_r, t_{pr}$	7	4	94	20/490	36
3	$D_0, D_{min}, D_{ps}, V_s, t_p, t_s, t_{ps}, t_{pr}$	8	8	96,2	28/716	71
4	$D_0, D_{min}, D_{ps}, D_k, t_p, t_s, t_{pr}$	7	7	94,2	20/480	30
5	$D_0, D_{min}, D_{ps}, D_k, A_s, t_p, t_s, t_{pr}$	8	10	96,7	24/758	59
6	$D_0, D_{ps}, D_k, A_s, t_p, t_s, t_r, t_{pr}$	8	7	94,7	21/505	49
7	$D_{ps}, D_k, V_s, t_p, t_s, t_r, t_{pr}$	7	5	95,6	20/438	38
8	$D_0, D_{min}, t_p, t_s, t_r, t_{pr}$	6	3	96,4	24/660	59
9	$D_{min}, D_{ps}, D_k, A_s, t_p, t_s, t_r, t_{pr}$	8	5	95,3	24/726	67
10	$D_0, D_{ps}, D_k, A_s, t_s, t_{ps}, t_{pr}$	7	5	96,1	24/682	69

Произведены расчеты ошибок 1-го и 2-го рода для модели и их сравнение с другими методами классификации (см. табл. 3).

При анализе данных пупиллометрии точность классификации на базе модели КНС превосходит точность других известных методов. С целью дополнительной оценки эффективности произведено построение модели КНС на данных бинарной классификации BUPA Liver

Таблица 3

Сравнение точности модели с точностью методов классификации

Методы	Критерии	Ошибок I рода	Ошибок II рода	Точность классификации
На базе модели КНС		0%	3,3%	96,7%
Логистическая регрессия		1,3%	5,7%	93,0%
Дерево решений		1,6%	5,9%	92,5%
Сеть Кохонена		7,9%	11,3%	80,9%

Таблица 4

Сравнение точности различных методов классификации

Метод классификации	Наборы данных	BUPA Liver Disorders	Australian Credit Approval	German Credit Data
Классификатор на нечеткой логике		0,757	0,921	0,821
Байесовский классификатор		0,629	0,847	0,679
Многослойный перцептрон		0,693	0,833	0,716
Метод случайных подпространств		0,632	0,852	0,677
На базе модели КНС		0,862	0,959	0,892

Disorders, Australian Credit Approval, German Credit Data из репозитория UCI Machine Learning Repository [30] с 6-ю, 14-ю и 20-ю входными параметрами. В таблице 4 представлены результаты точности классификации на базе модели КНС и их сравнение с известными результатами других авторов [31, 32].

Точность классификации на базе модели КНС не ниже точности других методов. Таким образом, полученные результаты определения ФС человека на базе предложенного подхода качественно соответствуют известным результатам других авторов [5–7, 10].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали высокую эффективность НС-модели и возможность ее практического использования для определения ФС человека, связанного с интоксикацией ПАВ. Разработанный программный комплекс введен в опытную эксплуатацию в качестве системы поддержки принятия решений при прохождении процедуры предрейсового медицинского осмотра [11, 29, 33] в одном из автотранспортных хозяйств города Казани. Использование комплекса программ в данной процедуре позволяет автоматизировать процесс определения наличия у водителей медицинских ограничений к управлению служебным автотранспортом. В данном случае заключение медицинского работника подкрепляется результатом нейросетевой классификации ФС водителя, что позволяет повысить эффективность решения поставленной задачи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мышкин И.Ю. Физиология сенсорных систем и высшей нервной деятельности : учеб. пособие. – Ярославль : ЯрГУ, 2008. – 168 с.
2. Основы психофизиологии : учебник / отв. ред. Ю.И. Александров. – М. : ИНФРА-М, 1997. – 349 с.

3. Ильин Е.П. Психофизиология состояний человека. – СПб. : Питер, 2005. – 412 с.
4. Леонова А.Б. Психодиагностика функциональных состояний человека. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1984. – 200 с.
5. Куцало А.Л. Пупиллометрия в качестве метода экспресс-диагностики наркотической интоксикации : дис. ... канд. мед. наук. – СПб., 2004. – 118 с.
6. Кальницкая В.Е., Погребной А.И., Якобашвили В.А. Особенности пупилограммы у наркоманов в период острой абстиненции // Актуальные вопросы физической культуры и спорта. – 2003. – Т. 6. – С. 221–230.
7. Кальницкая В.Е., Погребной А.И. Особенности реакции организма подростков, употребляющих психоактивные вещества (по данным пупиллометрии) // Актуальные вопросы физической культуры и спорта. – 2008. – Т. 10. – С. 124–128.
8. Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С., Шлеймович М.П. К вопросу о бесконтактном определении физиологического состояния человек // Вестник НЦБЖД. – 2015. – № 1 (23). – С. 13–21.
9. Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С. Повышение эффективности деятельности правоохранительных органов по обеспечению общественной безопасности на основе интеллектуальных технологий // Информация и безопасность. – 2017. – Т. 20, № 4 (4). – С. 610–613.
10. Куприянов А.С. Моделирование реакции сложной адаптивной системы на импульсное воздействие : дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2012. – 103 с.
11. Федеральный закон «О безопасности дорожного движения» от 10.12.1995 N 196-ФЗ. – URL: <http://base.garant.ru/10105643>.
12. «Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях» от 30.12.2001 N 195-ФЗ (ред. от 23.04.2018). – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34661](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661).
13. Steffen S. Merkmale und Hintergründe der pathologischen Internetnutzung : дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Тюбинген (Германия), 2012. – 131 с.
14. McLaren J.W., Erie J.C., Brubaker R.F. Computerized analysis of pupillograms in studies of alertness: Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 33. – no. 3. – 1992. – pp. 671–676.
15. Risto F., Pupillometry. The Psychology of the Pupillary Response (Book): Journal of Personality Assessment, 44. – no. 4. – 1980. – pp. 441–444.
16. Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С., Шлеймович М.П. Повышение эффективности обнаружения лица и глаз человека на видеоизображении в задачах бесконтактного выявления потенциально опасных лиц // Информация и безопасность. – 2016. – Т. 19, № 4 (4). – С. 519–522.
17. Паклин Н.Б., Орешков В.И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. – СПб. : Питер, 2009. – 624 с.
18. Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С. Концепция бесконтактной идентификации лиц, представляющих угрозу общественной безопасности // Вестник НЦБЖД. – 2016. – № 3 (29). – С. 83–88.
19. Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Кирпичников А.П. Нейросетевая диагностика аномальной сетевой активности // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 6. – С. 163–167.
20. Кашапов Н.Р., Катасёв А.С., Катасёва Д.В. Методы обнаружения скрытых каналов в протоколе HTTP с помощью нейронных сетей // Информация и безопасность. – 2016. – Т. 19, № 4 (4). – С. 555–558.
21. Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры : учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 400 с.
22. Круг П.Г. Нейронные сети и нейрокомпьютеры : учеб. пособие по курсу «Микропроцессоры». – М. : Издательство МЭИ, 2002. – 176 с.
23. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М., 2006. – 276 с.
24. Hecht-Nielsen R. Kolmogorov's mapping neural network existence theorem // IEEE First Annual International Conference on Neural Networks. San Diego. – 1987. – Vol. 3. – pp. 11–13.
25. Ахметвалеев А.М. Анализ зрачковых реакций человека на световое импульсное воздействие // XXIII Тулелевские чтения (школа молодых ученых) : Междунар. молодёжная науч. конф., 8–10 ноября 2017 года : матер. конф. в 4 т. – Казань : Изд-во Академии наук РТ, 2017. – Т. 3. – С. 21–29.
26. Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С. Нейросетевая модель и программный комплекс определения функционального состояния человека // Автоматизация процессов управления. – 2017. – № 3 (49). – С. 88–95.
27. Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С., Кирпичников А.П. Редукция нейросетевых моделей на основе метода двухэтапной генетической оптимизации // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 9. – С. 71–75.
28. Efron B., Tibshirani R. Improvements on Cross-Validation: The .632+ Bootstrap Method // Journal of the American Statistical Association. – (Vol. 92. – No. 438. – Jun., 1997). – pp. 548–560.
29. Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С. Нейросетевая модель определения функционального состояния опьянения человека в решении отдельных задач обеспечения транспортной безопасности // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеллектуальные транспортные системы и ситуационные центры : матер. V Междунар. науч.-практ. конф. – Казань : Центр инновационных технологий, 2018. – С. 212–218.
30. Bache K., Lichman M. UCI Machine Learning Repository. Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science. 2013. – URL: <http://archive.ics.uci.edu/ml>.
31. Бухтояров В.В. Трехступенчатый эволюционный метод формирования коллективов нейронных сетей для решения задач классификации // Программные продукты и системы. – 2012. – № 4. – С. 101–106.
- Sergienko R.B., Semenkin E.S. Michigan and Pittsburgh Methods Combining for Fuzzy Classifier Generating with Coevolutionary Algorithm for Strategy Adaptation, Proc. of 2011 IEEE Congress on Evolutionary



Computation, New Orleans, LA, USA, 2011. pp. – 113–120.

32. Зеренин А.Г., Мостовой С.М. Пособие для врачей психиатров-наркологов и врачей общей практики по вопросам медицинского освидетельствования на состояние опьянения. – М. : ФГУ ННЦ наркологии Росздора, 2007. – 160 с.

## REFERENCES

1. Myshkin I.Iu. *Fiziologiya sensorynykh sistem i vysshei nervnoi deiatelnosti. Ucheb. posobie* [Physiology of Sensory Systems and Higher Nervous Activity. Textbook]. Yaroslavl, YarGU Publ., 2008. 168 p.
2. *Osnovy psikhofiziologii. Uchebnik. Otv. red. Iu.I. Aleksandrov* [Fundamentals of Psychophysiology. Textbook. Edited by Iu.I. Aleksandrov]. Moscow, INFRA-M Publ., 1997. 349 p.
3. Ilin E.P. *Psikhofiziologiya sostoianii cheloveka* [Psychophysiology of the States of a Person]. St. Petersburg, Piter Publ., 2005. 412 p.
4. Leonova A.B. *Psikhodiagnostika funktsionalnykh sostoianii cheloveka* [Psychodiagnosis of the Functional State of a Person]. Moscow, Moscow Univers. Publ., 1984. 200 p.
5. Kutsalo A.L. *Pupillometriia v kachestve metoda ekspress-dagnostiki narkoticheskoi intoksikatsii. Dis. kand. med. nauk* [Pupillometry as a Method of Instant Diagnosis of Intoxication from Drugs. Cand. med. sci. diss.]. St. Petersburg, 2004. 118 p.
6. Kalnitskaia V.E., Pogrebnoi A.I., Iakobashvili V.A. Osobennosti pupillogrammy u narkomanov v period ostroi abstinentsii [Body Reaction Characteristics of Drug-User during Acute Abstinence]. *Aktualnye voprosy fizicheskoi kultury i sporta* [Actual Problems of Physical Fitness and Sport], 2003, vol. 6, pp. 221–230.
7. Kalnitskaia V.E., Pogrebnoi A.I. Osobennosti reaktsii organizma podrostkov, upotrebliaiushchikh psikhoaktivnye veshchestva (po dannym pupillometrii) [Characteristics of Teenager Body Reaction who uses Psychotropic Substances (after Pupillometry Data)]. *Aktualnye voprosy fizicheskoi kultury i sporta* [Actual Problems of Physical Fitness and Sport], 2008, vol. 10, pp. 124–128.
8. Akhmetvaleev A.M., Katasev A.S., Shleimovich M.P. K voprosu o beskontaktnom opredelenii fiziologicheskogo sostoianiia chelovek [To the Question of Contactless Determination of the Physiological Condition of the Person]. *Vestnik NTsBZhD* [Bull. of Sci. Center of Health and Safety], 2015, no. 1 (23), pp. 13–21.
9. Akhmetvaleev A.M., Katasev A.S. Povyshenie effektivnosti deiatelnosti pravookhranitelnykh organov po obespecheniiu obshchestvennoi bezopasnosti na osnove intellektualnykh tekhnologii [Improving the Efficiency of Police to Ensure Public Safety on the Basis of Intelligent Technologies]. *Informatsiia i bezopasnost* [Information and Safety], 2017, vol. 20, no. 4 (4), pp. 610–613.
10. Kupriianov A.S. *Modelirovanie reaktsii slozhnoi adaptivnoi sistemy na impulsnoe vozdeistvie. Dis. kand. tekhn. nauk* [Simulation of the Response of the Complex Adaptive System to Impulse Force. Cand. Eng. Sci. Diss.]. St. Petersburg, 2012. 103 p.
11. *Federalnyi zakon "O bezopasnosti dorozhnogo dvizheniia" ot 10.12.1995 N 196-FZ* [On Traffic Safety in the Russian Federation. Federal Act No. N 196-FZ dated Dec., 10, 1995]. Available at: <http://base.garant.ru/10105643>.
12. *"Kodeks Rossiiskoi Federatsii ob administrativnykh pravonarusheniiakh" ot 30.12.2001 N 195-FZ (red. ot 23.04.2018)* [Code of Administrative Violations in the Russian Federation No. N 195-FZ dated Dec., 30, 2001 (revised in Apr., 23, 2018)]. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34661](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661).
13. Steffen S. *Merkmale und Hintergründe der pathologischen Internetnutzung. dis. kand. fiz.-mat. nauk.* [Features and Background of Pathological Internet Use. Cand. Phys. and Math. Sci. Diss.]. Tuebingen (Germany), 2012. 131 p.
14. McLaren J.W., Erie J.C., Brubaker R.F. Computerized Analysis of Pupillograms in Studies of Alertness. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 33, 1992, no. 3, pp. 671–676.
15. Risto F., Pupillometry. The Psychology of the Pupillary Response (Book). *Journal of Personality Assessment*, 44, 1980, no. 4, pp. 441–444.
16. Akhmetvaleev A.M., Katasev A.S., Shleimovich M.P. Povyshenie effektivnosti obnaruzheniia litsa i glaz cheloveka na videoizobrazhenii v zadachakh beskontaktnogo vyavleniia potentsialno opasnykh lits [Improving the Efficiency of Human Face and Eyes Detection on Video Image in the Problem of Potentially Dangerous Contactless Identify]. *Informatsiia i bezopasnost* [Information and Safety], 2016, vol. 19, no. 4 (4), pp. 519–522.
17. Paklin N.B., Oreshkov V.I. *Biznes-analitika: ot dannykh k znaniyam* [Business Analytics: from Data to Knowledge]. St. Petersburg, Piter Publ., 2009. 624 p.
18. Akhmetvaleev A.M., Katasev A.S. Kontsepsiia beskontaktnoi identifikatsii lits, predstavliaiushchikh ugrozu obshchestvennoi bezopasnosti [The Concept of Contactless Identification of Person Representing the Dangerous for Public Safety]. *Vestnik NTsBZhD* [Bull. of Sci. Center of Health and Safety], 2016, no. 3 (29), pp. 83–88.
19. Katasev A.S., Kataseva D.V., Kirpichnikov A.P. Neurosetevaia diagnostika anomalnoi setevoi aktivnosti [Neural Network Diagnostics of Abnormal Network Activity]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bull. of Kazan Technological University], 2015, vol. 18, no. 6, pp. 163–167.
20. Kashapov N.R., Katasev A.S., Kataseva D.V. Metody obnaruzheniia skrytykh kanalov v protokole HTTP c pomoshchiu neuronnykh setei [Neural Network Model for Bots Identification in Social Networks]. *Informatsiia i bezopasnost* [Information and Safety], 2016, vol. 19, no. 4 (4), pp. 555–558.
21. Komartsova L.G., Maksimov A.V. *Neirokompiutery. Ucheb. posobie dlia vuzov. 2-e izd., pererab. i dop.* [Neural Computer. Textbook for Students. 2nd Edition, rev. and enlarged]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2004. 400 p.
22. Krug P.G. *Neironnye seti i neirokompiutery. Ucheb. posobie po kursu "Mikroprotsessory"* [Neural Networks and

Computers. Textbook for the Course of Microprocessor Study]. Moscow, MEI Publ., 2002. 176 p.

23. Rutkovskaia D., Pilinskii M., Rutkovskii L. *Neironnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy. Per. s polsk. I.D. Rudinskogo* [Neural Networks, Genetic Algorithms and Fuzzy Systems. Transl. from Polish by I.D. Rudinskii]. Moscow, 2006. 276 p.

24. Hecht-Nielsen R. Kolmogorov's Mapping Neural Network Existence Theorem. *IEEE First Annual International Conference on Neural Networks*, San Diego. 1987, vol. 3, pp. 11–13.

25. Akhmetvaleev A.M. Analiz zrachkovykh reaktsii cheloveka na svetovoe impulsnoe vozdeistvie [Analysis Human Pupillary Reaction on Light Impulse Action]. *XXIII Tupolevskie chteniia (shkola molodykh uchenykh). Mezhdunar. molodezhnaia nauch. konf., 8–10 noiabria 2017. Mater. konf. v 4 t.* [23d Tupolev Readings (A School of Young Scientists). Int. Youth Sci. Conf. Proc. in 4 volumes. Nov. 8–10, 2017]. Kazan, Izd-vo Akademii nauk RT Publ., 2017, vol. 3, pp. 21–29.

26. Akhmetvaleev A.M., Katasev A.S. Neurosetevaia model i programmnyi kompleks opredeleniia funktsionalnogo sostoianiia cheloveka [Neuro Network Model and Software Package for Human Functional State Determining]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2017, no. 3 (49), pp. 88–95.

27. Akhmetvaleev A.M., Katasev A.S., Kirpichnikov A.P. Reduktsiia neurosetevykh modelei na osnove metoda dvukhetapnoi geneticheskoi optimizatsii [Reduction of Neural Network Models based on the Method of Two-Stage Genetic Optimization]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Kazan Technological University Bull.], 2017, vol. 20, no. 9, pp. 71–75.

28. Efron B., Tibshirani R. Improvements on Cross-Validation: The .632+ Bootstrap Method. *Journal of the American Statistical Association*, Jun., 1997, vol. 92, no. 438, pp. 548–560.

29. Akhmetvaleev A.M., Katasev A.S. Neurosetevaia model opredeleniia funktsionalnogo sostoianiia opianeniia cheloveka v reshenii otdelnykh zadach obespecheniia transportnoi bezopasnosti [Neural Network Model for Determining the Functional State of a Person when solving the Individual Tasks in Transport Safety Ensuring]. *Sovremennye problemy bezopasnosti zhiznedeiatelnosti: intellektualnye transportnye sistemy i situatsionnye tsentry. Mater. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Proc. of the 5th Int. Sci. Conf. on Present-Day Problems of Health and Life Safety: Smart Transport Systems and Situation Centers]. Kazan, Tsentr innovatsionnykh tekhnologii Publ., 2018, pp. 212–218.

30. Bache K., Lichman M. *UCI Machine Learning Repository*. Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science. 2013. Available at: <http://archive.ics.uci.edu/ml>.

31. Bukhtoiarov V.V. Trekhstupenchatyi evoliutsionnyi metod formirovaniia kollektivov neironnykh setei dlia resheniia zadach klassifikatsii [Evolutionary Three-Stage Approach for Designing of neural Networks Ensembles for Classification Problems]. *Programmnye produkty i sistemy* [Software and Systems], 2012, no. 4, pp. 101–106.

32. Sergienko R.B., Semenkin E.S. Michigan and Pittsburgh Methods Combining for Fuzzy Classifier Generating with Coevolutionary Algorithm for Strategy Adaptation. *Proc. of 2011 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, New Orleans, LA, USA, 2011, pp. 113–120.

33. Zerenin A.G., Mostovoi S.M. *Posobie dlia vrachei psikhiatrov-narkologov i vrachei obshchei praktiki po voprosam meditsinskogo osvidetelstvovaniia na sostoianie opianeniia* [Handbook for Psychiatrists, Narcologists and General Doctors on Medical Examination of the Intoxication Level]. Moscow, FGU NNTs Narkologii Roszdrava Publ., 2007. 160 p.