

УДК: 004.942

Нейросетевая модель определения функционального состояния опьянения человека в решении отдельных задач обеспечения транспортной безопасности

А. М. Ахметвалеев^а, А. С. Катасёв^б

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ,
Россия, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10

E-mail: ^а Amir.Akhmetvaleev@gmail.com, ^б Kat_726@mail.ru

*Получено 28.02.2018, после доработки — 06.06.2018.
Принято к публикации 06.06.2018.*

В данной статье решается задача определения функционального состояния опьянения водителей автотранспортных средств. Ее решение актуально в сфере транспортной безопасности при прохождении предрейсовых медицинских осмотров. Решение задачи основано на применении метода пупиллометрии, позволяющего судить о состоянии водителя по его зрачковой реакции на изменение освещенности. Производится постановка задачи определения состояния опьянения водителя по анализу значений параметров пупиллограммы — временного ряда, характеризующего изменение размеров зрачка при воздействии кратковременного светового импульса. Для анализа пупиллограмм предлагается использовать нейронную сеть. Разработана нейросетевая модель определения функционального состояния опьянения водителей. Для ее обучения использованы специально подготовленные выборки данных, представляющие собой сгруппированные по двум классам функциональных состояний водителей значения следующих параметров зрачковых реакций: диаметр начальный, диаметр минимальный, диаметр половинного сужения, диаметр конечный, амплитуда сужения, скорость сужения, скорость расширения, латентное время реакции, время сужения, время расширения, время половинного сужения и время половинного расширения. Приводится пример исходных данных. На основе их анализа построена нейросетевая модель в виде однослойного персептрона, состоящего из двенадцати входных нейронов, двадцати пяти нейронов скрытого слоя и одного выходного нейрона. Для повышения адекватности модели методом ROC-анализа определена оптимальная точка отсечения классов решений на выходе нейронной сети. Предложена схема определения состояния опьянения водителей, включающая следующие этапы: видеорегистрация зрачковой реакции, построение пупиллограммы, вычисление значений ее параметров, анализ данных на основе нейросетевой модели, классификация состояния водителя как «норма» или «отклонение от нормы», принятие решений по проверяемому лицу. Медицинскому работнику, проводящему осмотр водителя, представляется нейросетевая оценка его состояния опьянения. На основе данной оценки производится заключение о допуске или отстранении водителя от управления транспортным средством. Таким образом, нейросетевая модель решает задачу повышения эффективности проведения предрейсового медицинского осмотра за счет повышения достоверности принимаемых решений.

Ключевые слова: нейросетевая модель, пупиллометрия, зрачковая реакция, предрейсовый медицинский осмотр, функциональное состояние опьянения водителя, принятие решений

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания по проекту № 8.6141.2017/8.9.

UDC: 004.942

Neural network model of human intoxication functional state determining in some problems of transport safety solution

A. M. Akhmetvaleev^a, A. S. Katasev^b

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI,
10 K. Marks st., Kazan, 420111, Russia

E-mail: ^a Amir.Akhmetvaleev@gmail.com, ^b Kat_726@mail.ru

Received 28.02.2018, after completion — 06.06.2018.

Accepted for publication 06.06.2018.

This article solves the problem of vehicles drivers intoxication functional statedetermining. Its solution is relevant in the transport security field during pre-trip medical examination. The problem solution is based on the papillometry method application, which allows to evaluate the driver state by his pupillary reaction to illumination change. The problem is to determine the state of driver inebriation by the analysis of the papillogram parameters values — a time series characterizing the change in pupil dimensions upon exposure to a short-time light pulse. For the papillograms analysis it is proposed to use a neural network. A neural network model for determining the drivers intoxication functional state is developed. For its training, specially prepared data samples are used which are the values of the following parameters of pupillary reactions grouped into two classes of functional states of drivers: initial diameter, minimum diameter, half-constriction diameter, final diameter, narrowing amplitude, rate of constriction, expansion rate, latent reaction time, the contraction time, the expansion time, the half-contraction time, and the half-expansion time. An example of the initial data is given. Based on their analysis, a neural network model is constructed in the form of a single-layer perceptron consisting of twelve input neurons, twenty-five neurons of the hidden layer, and one output neuron. To increase the model adequacy using the method of ROC analysis, the optimal cut-off point for the classes of solutions at the output of the neural network is determined. A scheme for determining the drivers intoxication state is proposed, which includes the following steps: pupillary reaction video registration, papillogram construction, parameters values calculation, data analysis on the base of the neural network model, driver's condition classification as "norm" or "rejection of the norm", making decisions on the person being audited. A medical worker conducting driver examination is presented with a neural network assessment of his intoxication state. On the basis of this assessment, an opinion on the admission or removal of the driver from driving the vehicle is drawn. Thus, the neural network model solves the problem of increasing the efficiency of pre-trip medical examination by increasing the reliability of the decisions made.

Keywords: neural network model, papillometry, pupillary reaction, pre-trip medical examination, functional state of driver intoxication, decision making

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2018, vol. 10, no. 3, pp. 285–293 (Russian).

The work was supported by the Russian Federation Ministry of Education and Science, project no. 8.6141.2017/8.9.

1. Введение

В настоящее время одной из наиболее значимых проблем в обеспечении безопасности дорожного движения является управление транспортными средствами лицами, употребившими психоактивные вещества и находящимися, как следствие, в состоянии опьянения. Различные функциональные расстройства организма, вызванные подобным состоянием, легко могут привести к чрезвычайным последствиям, таким как дорожно-транспортные происшествия, в том числе с летальным исходом. Несмотря на активную пропаганду трезвого образа жизни и ужесточения мер административной и уголовной ответственности, значительного снижения количества дорожно-транспортных происшествий с водителями, находившимися в состоянии опьянения, достичь не удалось.

Особую озабоченность также вызывает факт управления служебным, муниципальным и общественным транспортными средствами, где такое функциональное состояние человека является абсолютно недопустимым. Так, статьей 23 Федерального Закона «О безопасности дорожного движения» введено требование о прохождении водителями автохозяев (предприятиях, связанных с эксплуатацией транспортных средств) обязательных медицинских осмотров: предварительных, периодических, предрейсовых и послерейсовых. В данном случае медицинским работником проводится специальное обследование водителей для определения наличия (отсутствия) у них медицинских показаний и ограничений к управлению транспортными средствами с использованием различных диагностических методов, в том числе методов определения состояния опьянения [Зеренин, Мостовой, 2008; Иванец, 2008]. На основании обследования медицинским работником выносится заключение о допуске или отстранении водителя от управления транспортным средством [Зеренин, Мостовой, 2008].

Существующая практика показывает недостаточность принимаемых мер к обеспечению транспортной безопасности в автохозяевах. Например, при исследовании выдыхаемого воздуха на алкоголь нередки случаи допуска ошибок, обусловленных неточным выполнением методики исследования и других обстоятельств. Кроме того, не исключен человеческий фактор, когда медицинский работник при выносе соответствующего заключения принимает решения на основе одних только субъективных данных об обследуемом лице.

2. Постановка задачи и основные обозначения

С развитием специальных технических средств и оптических приборов особую актуальность в вопросах диагностики состояний опьянения, вызванных воздействием наркотических средств и алкоголя, приобретают подходы, основанные на методе пупиллометрии [Ахметвалеев, 2017; Колесников и др., 2004; Куприянов, 2012; Куцало, 2004] — объективном медицинском методе исследования величины зрачка и динамики его изменения в условиях светового импульсного воздействия (световой вспышки). Пупиллометрия позволяет по реакции зрачков на световой стимул оценить реактивность и состояние цереброспинальных вегетативных центров, отражающих состояние организма при воздействии различных веществ. Принцип метода пупиллометрии состоит в регистрации зрачковой реакции, проявляющейся в виде кратковременного сужения зрачка и возврата его к исходному состоянию при воздействии световой вспышки, а также анализе пупиллографической кривой (пупиллограммы, см. рис. 1), которая отражает зависимость изменения диаметра зрачка от времени, в течение которого производится регистрация (как правило, 3 секунды).

На рисунке представлен пример пупиллограммы здорового человека и положения параметров, отражающих зрачковую реакцию человека на изменение освещенности: диаметр начальный (ДН), диаметр минимальный (ДМ), диаметр половинного сужения (ДПС), диаметр конечный (ДК), амплитуда сужения (АС), скорость сужения (СС), скорость расширения (СР), латентное время реакции (ЛВ), время сужения (ВС), время расширения (ВР), время половинного сужения (ВПС), время половинного расширения (ВПР). Некоторые параметры измеряются

непосредственно на кривой и являются независимыми друг от друга, а часть вычисляется по значениям первой группы. Различными исследованиями установлено, что в норме зрачки человека имеют среднестатистические размеры (в зависимости от уровня освещенности). При увеличении яркости света зрачки сужаются, а при уменьшении — расширяются. В состоянии опьянения характер зрачковой реакции заметно изменяется: отсутствует естественная реакция на изменение освещенности, а размеры зрачков находятся в крайних положениях (максимально сужены или максимально расширены).

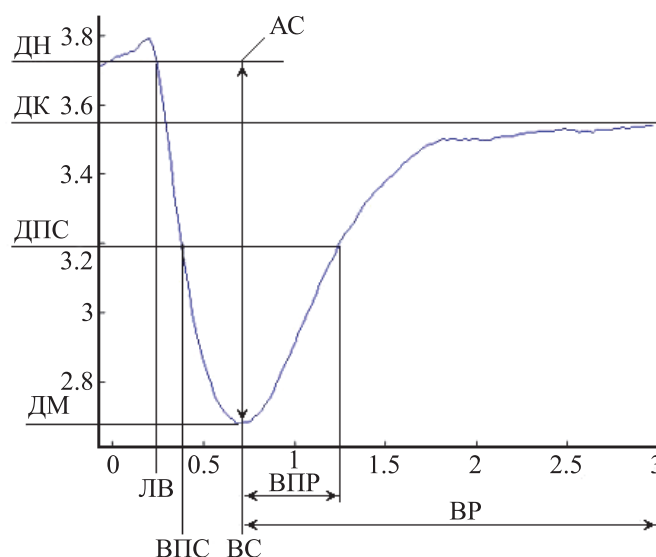


Рис. 1. Пример пупиллограммы и параметров зрачковой реакции

Таким образом, использование пупиллометрии актуально для повышения эффективности процедуры проведения предрейсового медицинского осмотра. Однако, несмотря на высокую достоверность и объективность данного метода, массовость его применения зачастую недостижима по причине нехватки ресурсов, как технических (дорогостоящих медицинских приборов), так и человеческих (квалифицированных медицинских работников — экспертов в области офтальмологии). Для решения указанных проблем, повышения эффективности предрейсового осмотра и расширения сферы применения метода пупиллометрии в решении задачи обеспечения транспортной безопасности возможно использование интеллектуальных методов анализа данных, например методов нейросетевого моделирования [Ахметвалеев, Катасёв, 2017; Katasev, Kataseva, 2016; Sug, 2010; Nazemi, Dehghan, 2015].

Известно, что нейронные сети эффективны в задачах автоматизации, прогнозирования, принятия решений, при обработке и анализе медицинских тестов [Михайлов, Староверов, 2013; Emaletdinova et al., 2015; Emaletdinova, Tsaregorodtseva, 2013; Katasev et al., 2016; Ge et al., 2017]. Основываясь на пупиллометрическом подходе, мы разработали нейросетевую модель определения функционального состояния опьянения человека по его зрачковой реакции на световое импульсное воздействие [Ахметвалеев, Катасёв, 2017]. Для обучения модели использовались специально подготовленные выборки данных, представляющие собой сгруппированные по двум классам функциональных состояний человека значения параметров зрачковых реакций. Фрагмент такой выборки представлен в таблице 1.

В таблице представлены примеры значений параметров пупиллограмм. Классы функциональных состояний 0 и 1 различают соответственно нормальное состояние человека и состояние опьянения. Набор таких групп параметров используется как для обучения искусственной нейронной сети, так и для выбора структуры нейросетевой модели.

Таблица 1. Фрагмент выборки данных для обучения нейросетевой модели

№	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
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	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

3. Построение нейросетевой модели

Учитывая бинарный характер решаемой задачи, для построения нейросетевой модели актуально использовать модель персептрона. Для выбора архитектуры модели воспользуемся следствием из теоремы Арнольда–Колмогорова–Хехт–Нильсона, согласно которому максимальное число нейронов скрытого слоя ограничено правой частью выражения

$$N_h \leq 2 \times N_{in} + 1, \quad (1)$$

где N_h — количество скрытых нейронов, а N_{in} — количество входных нейронов.

Таким образом, с учетом (1) нейросетевая модель будет содержать 12 входных нейронов, 25 нейронов скрытого слоя и 1 выходной нейрон (см. рис. 2).

Нейросетевая модель представляет собой однослойный персептрон. Проведенные исследования [Ахметвалеев и др., 2017] позволили оптимизировать разработанную модель. Например,

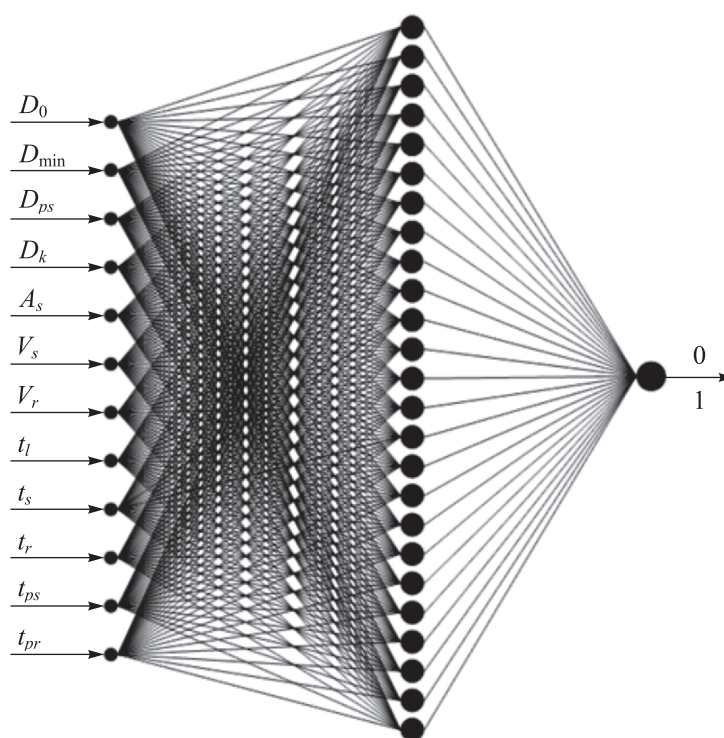


Рис. 2. Структура нейросетевой модели

ROC-анализ позволил сделать вывод, что оптимальная точка отсечения классов решений $Cutt_off_o$ должна обеспечивать минимизацию ошибок I рода по следующему правилу:

$$Cutt_off_o = Cutt_off_k \mid Se = \max_{k=1,K}(Se_k) \text{ \& } k = \max[1, K]. \quad (2)$$

Правило (2) гласит, что на множестве всех точек отсечения K оптимальная точка должна находиться в правой границе диапазона максимальной чувствительности (Se), при которой специфичность (Sp) также будет максимальной (см. рис. 3).

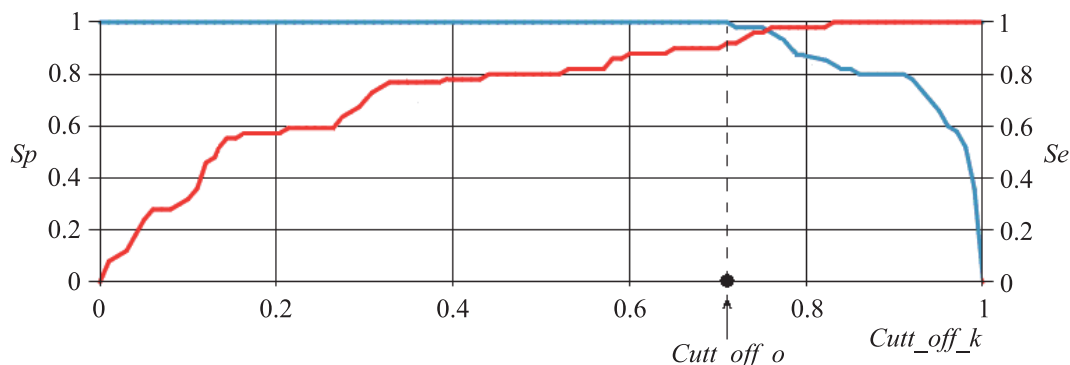


Рис. 3. Пример выбора точки отсечения

При выбранной точке отсечения модель обеспечивает 100%-ю чувствительность и 90%-ю специфичность. Следовательно, модель обеспечивает 100%-е распознавание лиц, находящихся в состоянии опьянения. Учитывая, что ни один из лабораторных тестов, используемых для выявления состояния опьянения, не обладает абсолютной (100 %) чувствительностью и специфичностью [Иванец, 2008], разработанная нейросетевая модель может использоваться как эффективный инструмент для повышения общей диагностической ценности.

4. Схема определения состояния опьянения человека

Предложена схема определения функционального состояния опьянения человека на основе использования нейросетевой модели (см. рис. 4).

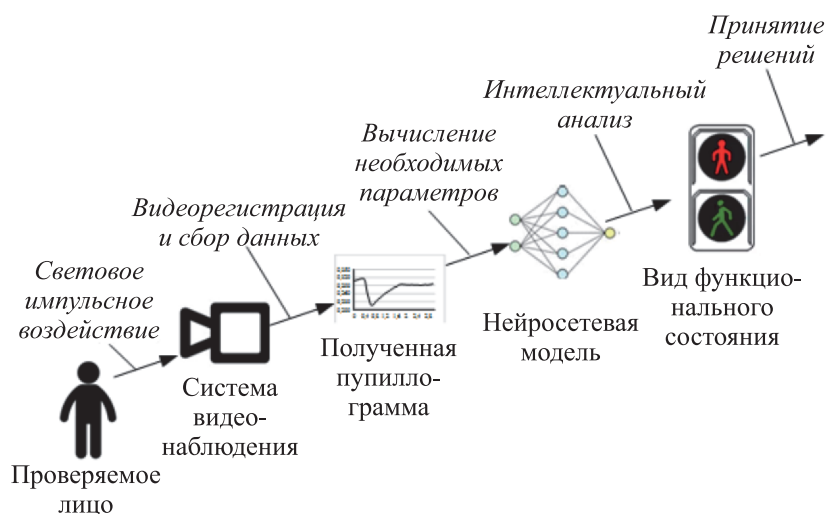


Рис. 4. Схема определения функционального состояния опьянения

Представленная схема отражает основные этапы определения функционального состояния человека с использованием нейросетевой модели: видеорегистрация зрачковой реакции человека на световое импульсное воздействие, сбор данных для формирования пупиллограммы, вычисление информативных параметров зрачковой реакции, интеллектуальный анализ данных на основе нейросетевой модели, классификация функционального состояния человека по классам «норма/отклонение», а также дальнейшее принятие решений по проверяемому лицу [Gold, Shadlen, 2007].

Таким образом, медицинским работникам, проводящим предрейсовый осмотр водителей автотранспорта, будет представлена экспертная оценка функционального состояния человека на состояние опьянения с использованием технологии интеллектуального анализа данных. На основе определенного нейросетевой моделью функционального состояния человека медицинский работник сможет вынести соответствующее заключение о допуске или отстранении водителя от управления транспортным средством. Иными словами, при выявлении у водителя состояния опьянения данная модель будет способствовать решению задачи повышения эффективности предрейсового медицинского осмотра, что в конечном итоге повлияет на общее обеспечение транспортной безопасности как на предприятии, так и в городе, где происходит эксплуатация транспортных средств.

5. Заключение

Применение нейросетевой модели определения функционального состояния опьянения человека устраняет основные ограничения традиционного диагностического подхода:

- снимаются строгие требования к исследованию в лабораторных условиях, так как зрачковую реакцию человека возможно регистрировать с использованием широкодоступных средств видеофиксации;
- не требуется экспертная оценка результатов диагностики, поскольку искусственные нейронные сети успешно применяются для решения задач классификации в различных экспертных системах и вполне могут заменить собой реальных специалистов-экспертов.

Кроме того, использование нейросетевого подхода для решения задачи определения состояния опьянения человека в сфере обеспечения транспортной безопасности позволяет повысить точность и достоверность результатов, обогатить их диагностическую ценность и повысить объективность исследования. В последнем случае процесс регистрации зрачковой реакции может быть сохранен в качестве доказательства того, что обследуемый водитель проходил данный осмотр, и результаты диагностики соответствуют вынесенному медицинским работником заключению. Это очевидное преимущество видеорегистрации, как средства объективного контроля, позволит исключить человеческий фактор при решении о допуске или отстранении водителя от управления автотранспортным средством.

В качестве альтернативных вариантов использования данного подхода, помимо предрейсового медицинского осмотра, можно выделить следующие:

- использование государственными инспекторами дорожного движения как средства бесконтактного определения состояния человека;
- использование в системах обеспечения общественной безопасности для выявления потенциально опасных лиц, находящихся в состоянии алкогольного или наркотического опьянения (при этом актуально использовать средства видеофиксации в местах массового пребывания граждан, где возможно нарушение общественного порядка лицами в измененном функциональном состоянии);
- дополнительная мера безопасности в системах профайлинга пассажиропотока, где имеется высокий риск угрозы со стороны лиц, находящихся в состоянии опьянения, а также недопустимо нахождение в таком состоянии; в данном случае применение возможно на вокзалах, в аэропортах и узлах общественной транспортной инфраструктуры.

Список литературы (References)

- Ахметвалеев А. М.* Нейросетевое моделирование функционального состояния человека на примере диагностики зрачкового рефлекса // Проблемы анализа и моделирования региональных социально-экономических процессов: материалы докладов VII Международной очной научно-практической конференции. — Казань, 2017. — С. 37–41.
- Akhmetvaleev A. M.* Neirosetevoye modelirovaniye funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka na primere diagnostiki zrachkovogo refleksa // Problemy analiza i modelirovaniya regional'nykh social'no-ekonomicheskikh processov: materialy dokladov VII Mezhdunarodnoy ochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Proc. 7th International full-time scientific and practical conference "Problems of analysis and modeling of regional socio-economic processes"]. — Kazan, 2017. — P. 37–41 (in Russian).
- Ахметвалеев А. М., Катасёв А. С.* Нейросетевая модель и программный комплекс определения функционального состояния человека // Автоматизация процессов управления. — 2017. — № 3 (49). — С. 88–95.
- Akhmetvaleev A. M., Katasyov A. S.* Neirosetevaya model' i programmnyy kompleks opredeleniya funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka [Neural network model and software for determining the functional state of a person] // Automation of management processes. — 2017. — No. 3 (49). — P. 88–95 (in Russian).
- Ахметвалеев А. М., Катасёв А. С., Кирпичников А. П.* Редукция нейросетевых моделей на основе метода двухэтапной генетической оптимизации // Вестник технологического университета. — 2017. — Т. 20, № 9. — С. 71–75.
- Akhmetvaleev A. M., Katasyov A. S., Kirpichnikov A. P.* Redukciya neirosetevykh modelej na osnove metoda dvukhetapnoy geneticheskoy optimizatsii [Reduction of neural network models based on the method of two-stage genetic optimization] // Journal of technological University. — 2017. — Vol. 20, No. 9. — P. 71–75 (in Russian).
- Зеренин А. Г., Мостовой С. М.* Предрейсовые, послерейсовые и текущие медицинские осмотры водителей транспортных средств: пособие для врачей и средних медицинских работников. — М.: Национальный научный центр наркологии, 2008.
- Zerenin A. G., Mostovoj S. M.* Predrejsovy, poslerejsovy i tekushhie medicinskie osmotry voditelej transportnykh sredstv: posobie dlya vrachej i srednikh medicinskih rabotnikov [Pre-trip, post-trip and on-going medical examinations of vehicle drivers: a manual for doctors and nurses]. — Moscow: Nacional'nyj nauchnyj centr narkologii, 2008 (in Russian).
- Иванец Н. Н.* Наркология. Национальное руководство. — М.: Гэотар-Медиа, 2008.
- Ivanecz N. N.* Narkologiya. Nacional'noe rukovodstvo [Narcology. National guide]. — Moscow: Geotar-Media, 2008 (in Russian).
- Колесников В. В., Кальницкая В. Е., Погребной А. И.* Особенности зрачкового рефлекса у больных наркоманией в период острой абстиненции // Вопросы наркологии. — 2004. — № 4. — С. 39–46.
- Kolesnikov V. V., Kal'niczkaya V. E., Pogrebnoj A. I.* Osobennosti zrachkovogo refleksa u bol'nykh narkomaniej v period ostroj abstinencii [Features of pupillary reflex in patients with drug addiction during acute abstinence] // Issues of addiction. — 2004. — No. 4. — P. 39–46 (in Russian).
- Куприянов А. С.* Моделирование реакции сложной адаптивной системы на импульсное воздействие. — СПб., 2012.
- Kupriyanov A. S.* Modelirovaniye reaktsii slozhnoy adaptivnoy sistemy na impul'snoye vozdejstvie [Simulation of complex adaptive system response to impulse action]. — Saint Petersburg, 2012 (in Russian).
- Куцало А. Л.* Пупиллометрия в качестве метода экспресс-диагностики наркотической интоксикации. — СПб., 2004.
- Kuczalo A. L.* Pupillometriya v kachestve metoda ekspress-diagnostiki narkoticheskoy intoksikatsii [Pupillometry as a method of rapid diagnosis of drug intoxication]. — Saint Petersburg, 2004 (in Russian).
- Михайлов А. С., Староверов Б. А.* Проблемы и перспективы использования искусственных нейронных сетей для идентификации и диагностики технических объектов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — 2013. — № 3. — С. 64–68.
- Mikhajlov A. S., Staroverov B. A.* Problemy i perspektivy ispol'zovaniya iskusstvennykh nejronnykh setej dlya identifikatsii i diagnostiki tekhnicheskikh ob'ektov [Problems and prospects of using artificial neural networks for identification and diagnostics of technical objects] // Bulletin of Ivanovo state power engineering University. — 2013. — No. 3. — P. 64–68 (in Russian).

- Emaletdinova L. Yu., Matveev I. V., Kabirova A. N.* Method of constructing a neural regulator for the automatic one-dimensional control of a technical object // *Russian Aeronautics*. — 2015. — No. 58 (2). — P. 227–232.
- Emaletdinova L. Yu., Tsaregorodtseva E. D.* Algorithms of constructing a neural network model for a dynamic object of control and adjustment of PID controller parameters // *Russian Aeronautics*. — 2013. — No. 56 (3). — P. 247–256.
- Ge C., Wang B., Wei X., Liu Y.* Exponential synchronization of a class of neural networks with sampled-data control // *Applied Mathematics and Computation*. — 2017. — No. 315. — P. 150–161.
- Gold J. I., Shadlen M. N.* The neural basis of decision making // *Annual Review of Neuroscience*. — 2007. — No. 30. — P. 535–574.
- Katasev A. S., Kataseva D. V.* Neural network diagnosis of anomalous network activity in telecommunication systems // *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics 2016*, 7819020.
- Katasev A. S., Kataseva D. V., Emaletdinova L. Yu.* Neuro-fuzzy model of complex objects approximation with discrete output // *2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 — Proceedings*, 7911653.
- Nazemi A., Dehghan M.* A neural network method for solving support vector classification problems // *Neurocomputing*. — 2015. — No. 152. — P. 369–376.
- Sug H.* The effect of training set size for the performance of neural networks of classification // *WSEAS Transactions on Computers*. — 2010. — No. 9 (11). — P. 1297–1306.