

## НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА НА ПРИМЕРЕ ДИАГНОСТИКИ ЗРАЧКОВОГО РЕФЛЕКСА

*А.М. Ахметвалеев,*

Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань

*Ключевые слова:* нейросетевое моделирование, диагностика зрачковых реакций, нейросетевая модель определения функционального состояния опьянения, пупиллометрия.

В современном и динамично развивающемся мире все большую актуальность приобретает обеспечение безопасности экономики и общества. Изменчивость внутривнутриполитической и социальной среды зачастую приводит к необратимым и деструктивным процессам, отражающимся в первую очередь на качестве жизни как отдельно взятого человека, так и государства в целом. Одной из проблем, ведущих к нежелательным изменениям в обществе, являются преступления, совершаемые в функциональном состоянии опьянения. Их удельный вес от всего объема совершаемых преступлений составляет порядка 37 % [6], что неизбежно сказывается на безопасности и комфорте среды обитания. Проведенные исследования продемонстрировали возможность использования в решении данной проблемы современных технологий интеллектуального анализа данных и моделирования.

Известно, что состояние опьянения ведет к патологическому функциональному расстройству организма человека, начиная от изменений в психической деятельности, заканчивая соматовегетативными и нервно-мышечными расстройствами [12]. Среди множеств признаков опьянения можно выделить ярко выраженное нарушение зрачкового рефлекса, а именно аномальное отклонение реакции зрачка на изменение освещенности фона [9,10,12].

Установлено, что в нормальном функциональном состоянии человека увеличение яркости фона приводит к резкому сужению зрачка, а при уменьшении яркости – к увеличению [14]. Однако, прием алкоголя или психоактивных веществ, приводит к снижению или исчезновению зрачковых рефлексов. Характер отклонения зависит от типа принятого вещества, при этом зрачки человека в большинстве случаев находятся в своих крайних положениях – максимально сужены (около 2 мм в диаметре) или сильно расширены (около 8 мм в диаметре). Кроме того наблюдается слабая их реакция на изменение освещенности, вплоть до полного отсутствия зрачкового рефлекса. К примеру, героин, морфин и макосодержащие наркотики вызывают сужение зрачков, а кокаин, амфетамин и ЛСД приводят к заметному их расширению. В случае

алкогольной интоксикации зрачки заметно расширены, а их реакция на свет снижена [4,9,10,12].

Таким образом, реакция зрачков на световой раздражитель (изменение освещенности) является безусловным рефлексом, который не поддается контролю со стороны человека. В диагностике зрачкового рефлекса наиболее широко используется метод пупиллометрии, позволяющий по реакции зрачков на световой стимул оценить ряд параметров цереброспинальных вегетативных центров, отражающих состояние организма при воздействии различных веществ [10].

В настоящее время для обработки и интерпретации результатов пупиллометрического обследования используются различные математические модели и методы анализа данных [13]: параметрический метод на основе кусочно-линейной модели пупиллограмм, линейно-дискриминантный (аппроксимационный) и кластеризационный (классификационный) методы и др. Большинство методов, в целом, опирается на математический подход к анализу временных рядов, с характерной «строгостью» вычислений и результата, что в итоге может привести к снижению точности классификации пупиллограмм и неустойчивости результата обследования к внешним факторам. Для повышения результативности и точности предлагается использовать нейросетевой подход [2,3].

В настоящее время актуальность приобретают методы интеллектуального анализа данных, в частности, нейросетевые методы, позволяющие решать задачи классификации и регрессии и моделировать сложные зависимости [5,7,8,11]. Потенциальными областями применения искусственных нейронных сетей (ИНС) являются те, где человеческий интеллект малоэффективен, а традиционные вычисления трудоемки или физически неадекватны (т.е. не отражают или плохо отражают реальные физические процессы и объекты). ИНС эффективны в процессах автоматизации, прогнозирования и распознавания образов.

Для построения нейросетевой модели определения функционального состояния опьянения человека по его зрачковой реакции на световое импульсное воздействие [2,3] предлагается использовать метод пупиллометрии [4]. Параметрами, отражающими зрачковую реакцию человека на изменение освещенности, являются: 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). Часть параметров измеряется непосредственно и является независимой друг от друга, а часть вычисляется по значениям первой группы. Таким образом, выборку данных (значений параметров пупиллограмм) можно представить в виде табл. 1.

## Формат выборки данных

№	ДН	ДМ	...	ВПР	Функциональное состояние
1	«значение»	«значение»	...	«значение»	«норма»
...	...	...	...	...	...
N	«значение»	«значение»	...	«значение»	«отклонение»

В табл. 1 представлен в общем виде формат выборки данных, получаемых в ходе пупиллометрического измерения зрачковой реакции на световое импульсное воздействие. При этом каждой группе данных присваивается свой класс в зависимости от текущего функционального состояния человека – норма или отклонение (опьянение). Имеющаяся выборка данных будет использована для построения нейросетевой модели анализа зрачковых реакций.

Для решения задачи бинарной классификации в большинстве случаев достаточно однослойного персептрона [8]. Такая нейронная сеть состоит из входного, скрытого и выходного слоев (рис. 1).

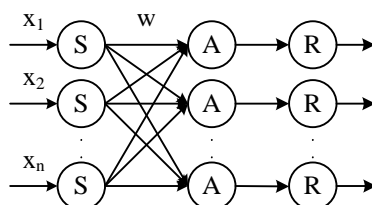


Рис. 1. Пример однослойного персептрона

Для определения числа нейронов скрытого слоя нейронной сети традиционно принято использовать следствие из теоремы Арнольда – Колмогорова – Хехт-Нильсена, согласно которому максимальное число нейронов скрытого слоя персептрона ограничено правой частью следующего выражения [1]:

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

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

Таким образом, используя выражение (1) структура нейросетевой модели будет представлять собой персептрон, состоящий из 12 нейронов входного слоя, 25 нейронов скрытого слоя и одного выходного нейрона (рис. 2).

На рис. 2 представлена структура нейросетевой модели определения функционального состояния опьянения человека по его зрачковой реакции на изменение освещенности. По вычисленным значениям зрачковой реакции, поступающим на вход сети, производится анализ и классификация текущего функционального состояния человека, где «0» – норма, а «1» – отклонение.

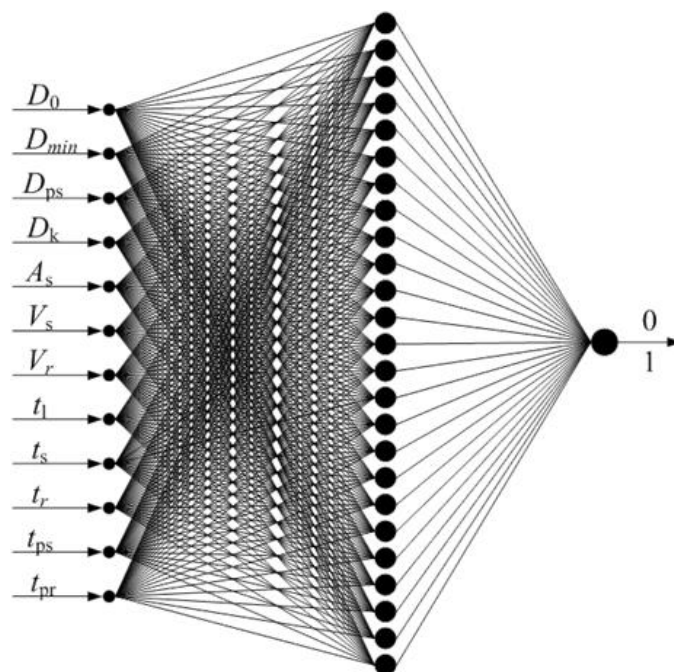


Рис. 2. Структура нейросетевой модели

Разработанная модель позволяет проводить диагностику зрачкового рефлекса человека для определения патологических функциональных расстройств, таких как опьянение. Применение данной модели в практической деятельности также расширяет возможности по выявлению потенциально опасных людей, чье anomalous состояние несет угрозу обществу, экономике и государству. В целом, нейросетевой подход к моделированию позволяет эффективно решать практические задачи классификации.

### Список литературы

1. *Hecht-Nielsen R.* Kolmogorov's mapping neural network existence theorem // IEEE First Annual International Conference on Neural Networks. San Diego. 1987. Vol. 3. P. 11–13.
2. *Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С., Шлеймович М.П.* К вопросу о бесконтактном определении физиологического состояния человека // Вестник НЦБЖД. 2015. № 1 (23). С. 13–21.
3. *Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С.* Выявление потенциально опасных лиц в системах обеспечения общественной безопасности. Информационная безопасность и защита персональных данных. Проблемы и пути их решения // материалы VII Межрегиональной науч.-практ. конф. / под ред. О.М. Голембиовской. Брянск: БГТУ, 2015. С. 23–26.
4. *Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С.* Концепция бесконтактной идентификации лиц, представляющих угрозу общественной безопасности // Материалы IV Межд. науч.-практ. конф. «Современные проблемы безопасности жизнедеятельности» / под общей ред. д.т.н., проф. Р.Н. Минниханова. Казань: ГБУ «Научный центр безопасности жизнедеятельности», 2016. С. 67–72.

5. *Воронцов К.В.* Лекции по искусственным нейронным сетям [Электронный ресурс].

URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/c/cc/Voron-ML-NeuralNets.pdf> (дата обращения 26.04.2017).

6. Генеральная прокуратура Российской Федерации. Состояние преступности в России за январь-июнь 2016 года. Москва: Главное организационно-аналитическое управление правовой статистики, 2016. 52 с.

7. *Загоруйко Н.Г.* Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. 270 с.

8. *Катасёв А.С.* Мягкие вычисления: учебное пособие. Казань: Каз. гос. техн. ун-т, 2010. 206 с.

9. *Колесников В.В., Кальницкая В.Е., Погребной А.И. и др.* Особенности зрачкового рефлекса у больных наркоманией в период острой абстиненции // Вопросы наркологии. 2004. № 4. С. 39–46.

10. *Куцало А.Л.* Пупиллометрия в качестве метода экспресс-диагностики наркотической интоксикации: диссертация кандидата медицинских наук. Санкт-Петербург, 2004. 118 с.

11. *Паклин Н.Б., Орешков В.И.* Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. СПб.: Питер, 2009. 624 с.

12. Приказ Минздрава России от 18.12.2015 №933н «О порядке проведения медицинского освидетельствования на состояние опьянения (алкогольного, наркотического или иного токсического)» (Зарегистрировано в Минюсте России 11.03.2016 № 41390).

13. *Фоменко В.Н., Куприянов А.С.* Математические модели зрачковых реакций глаза человека (пупиллограмм) // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2010. № 4 (25). С. 220–230.

14. *Хацевич Т.Н.* Медицинские оптические приборы. Физиологическая оптика: учеб. пособие – 3-е изд., испр. и доп. Новосибирск: СГГА, 2010. 135 с.