Нейрообразовательная среда для приобретения компетенций в области сквозных цифровых технологий (нейротехнологии) в условиях цифровой трансформации*

Цель исследования. Целью исследования является разработка предложений по формированию нейрообразовательной среды, обеспечивающей получение обучаемыми компетенций, необходимых для решения задачи внедрения сквозных цифровых технологий в рамках реализации программы цифровой экономики. Проведенный анализ показал, что совершенствование подготовки специалистов в области нейротехнологий и искусственного интеллекта в цифровой экономике является актуальной и востребованной задачей. В статье рассмотрен подход к решению задачи совершенствования подготовки специалистов в области нейротехнологий с учетом требований Федерального проекта «Кадры для цифровой экономики» путем создания технологической платформы нейрообразовательной среды, обеспечивающей приобретение обучаемыми необходимых компетенций.

Материалы и методы исследования. В процессе выполнения исследований развиты теоретические положения в области теории нейронных сетей, предложен новый класс нейронов и нейронных сетей, приближенных по функциям к биологическим нейронным сетям и получивших название избирательных. Разработана технология обучения и применения избирательных нейросетей. Показано преимущество избирательных технологий по сравнению с классическими нейр сетями. Разработаны и применяются в учебном процессе аппаратные модели нейросетей, входящие в состав нейрообразовательной системы. Разработана общая методология обучения нейросетевой технологии, как одной из сквозных технологий цифровой экономики, а также методология применения нейронных сетей при решении экономических задач в условиях цифровой трансформации.

Результаты. Разработана технологическая платформа нейрообразовательной среды, включающее программное обеспечение, аппаратные модели классических нейронов и перцептронов (МакКаллока-Питтса), а также нейронов и перцептронов нового класса, получивших название избирательных. Разработано и предложено программное средство для обучения стандартным и избирательным нейротехнологиям, на которое получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Для усвоения теоретического материала и приобретения

практических навыков разработаны методические материалы, авторские практические задачи и авторские лабораторные работы, входящие в состав технологической платформы. Предложенные в статье подходы могут быть использованы при организации изучения теории нейросетей и методов прикладного применения нейротехнологий при решении задач внедрения сквозных цифровых технологий в рамках реализации программы цифровой экономики. Результаты разработки подтверждены 4-мя патентами на изобретение. С целью более эффективного освоения теоретических положений и особенностей практического применения нейротехнологий основное внимание уделяется физическому смыслу и представлению происходящих процессов при функционировании нейронной сети в виде формальных описаний, которые обеспечивают более эффективное усвоение основ теории нейронных сетей и нейротехнологий с использованием существующих стандартных нейросетевых архитектур, а также архитектур, построенных на основе избирательных нейросетей.

Заключение. Разработана архитектура и компоненты технологической платформы нейрообразовательной среды на основе нейрообразовательных комплексов. Разработан общий методический подход для обучения основам нейротехнологии на основе стандартных и избирательных нейронных сетей и особенностям их применения в рамках реализации программы цифровой экономики. Разработана методика обучения основам нейротехнологии на основе стандартных и избирательных нейронных сетей, которая включает математическую теорию стандартных и избирательных нейронных сетей, описание процесса обучения стандартных нейронных сетей, построенных на основе нейронов МакКаллока-Питтса, а также избирательных нейронных сетей, построенных на основе избирательных нейронов.

Ключевые слова: нейрообразовательная среда, технологическая платформа, компетенции, сквозные технологии цифровой экономики, нейротехнологии и искусственный интеллект, избирательные нейроны, избирательные нейросети.

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»

Neuroeducational Environment for Acquisition of Competencies in the Field of End-To-End Digital Technologies (Neurotechnology) in the Conditions of Digital Transformation

Purpose of the study. The purpose of the study is to develop proposals for the formation of a neuroeducational environment that ensures that students acquire the competencies necessary to solve the problem of introducing end-to-end digital technologies within the framework of the digital economy program. The analysis showed that improving the training of specialists in the field of neurotechnology and artificial intelligence in the digital economy is an urgent and demanded task. The paper discusses an approach to solve the problem of improving the training of specialists in the field of neurotechnologies, taking into account the requirements of the federal project "Personnel for the digital economy" by creating a technological platform for a neuroeducational environment that ensures the acquisition of the necessary competencies by students.

Materials and methods of research. In the process of carrying out the research, theoretical provisions in the field of the theory of neural networks were developed, a new class of neurons and neural networks was proposed, which are close in functions to biological neural networks and are called selective. The technology of training and application of selective neural networks has been developed. The advantage of selective technologies in comparison with classical neural networks is shown. Hardware models of neural networks, which are part of the neuroeducational system, have been developed and used in the educational process. A general methodology for teaching neural network technology as one of the end-to-end technologies of the digital economy has been developed, as well as a methodology for using neural networks in solving economic problems in the context of digital transformation.

Results. A technological platform for a neuroeducational environment has been developed, including software, hardware models of classical neurons and perceptrons (McCulloch-Pitts), as well as neurons and perceptrons of a new class, called selective. A software tool for teaching standard and selective neurotechnologies was developed and proposed, for which a certificate of state registration of a computer program was obtained. For the assimilation of theoretical

material and the acquisition of practical skills, methodological materials, author's practical tasks and author's laboratory works have been developed, which are part of the technological platform. The approaches proposed in the article can be used in organizing the study of the theory of neural networks and methods of applied application of neurotechnologies in solving the problems of introducing end-to-end digital technologies within the framework of the digital economy program. The development results are confirmed by 4 patents for inventions. In order to more effectively master the theoretical provisions and features of the practical application of neurotechnologies, the main attention is paid to the physical meaning and presentation of the processes occurring during the functioning of a neural network in the form of formal descriptions that provide a more effective assimilation of the foundations of the theory of neural networks and neurotechnologies using existing standard neural network architectures, as well as architectures built on the basis of selective neural networks.

Conclusion. The architecture and components of the technological platform of the neuroeducational environment based on neuroeducational complexes have been developed. A general methodological approach has been developed for teaching the basics of neurotechnology based on standard and selective neural networks and the peculiarities of their application in the framework of the digital economy program. A methodology for teaching the basics of neurotechnology based on standard and selective neural networks has been developed, which includes the mathematical theory of standard and selective neural networks, a description of the learning process for standard neural networks based on McCulloch-Pitts neurons, as well as selective neural networks based on selective neurons.

Keywords: neuroeducational environment, technological platform, competencies, end-to-end technologies of the digital economy, neurotechnologies and artificial intelligence, selective neurons, selective neural networks.

Введение

В соответствии с Федеральным проектом «Кадры для цифровой экономики», который представляет собой составную часть Национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» разрабатывается базовая модель компетенций цифровой экономики, включающая ключевые компетенции, которые необходимы для решения человеком поставленной задачи или достижения заданного результата деятельности в

условиях глобальной цифровизации общественных и бизнес-процессов [1–7].

На основе базовой модели компетенций цифровой экономики планируется актуализация федеральных образовательных стандартов (ФГОС) в условиях цифровизации российской экономики, создание стройной системы подготовки специалистов в указанной области, создание современной учебно-лабораторной базы, совершенствование существующих учебно-методических материалов и разработка но-

вых с учетом активного развития в последнее время теории нейронных сетей (в частности, теории нейронных сетей третьего поколения) и непрерывного совершенствования нейротехнологий.

Вышесказанное обуславливает актуальность решаемых исследовательских задач, важность решения задачи получения необходимых компетенций специалистами, внедряющими нейротехнологии в рамках реализации программы цифровой экономики. Разработанная нейрообразовательная среда и

методические по мнению авторов, будет способствовать уменьшению существующего разрыва между потребностями в совершенствовании подготовки в вышеназванной предметной области и существующим положением вещей на рынке образовательных услуг.

Нейрообразовательная среда и ее технологическая платформа

Нейрообразовательная среда построена и развернута на базе учебного компьютерного класса университета и представляет собой интеграцию существующих средств компьютерного класса и разработанных нейрообразовательных комплексов, которые обеспечивают создание технологической платформы. В состав технологической платформы нейрообразовательной среды входят:

- нейрообразовательные комплексы (разработчик ООО «Интеграл»);
- аппаратно-программные средства (рабочие станции) учебного класса;
- программные средства (авторское программное средство «Программа расчета весовых коэффициентов перцептрона с помощью избирательного метода Монте-Карло», программный пакет NEURAL NETWORK TOOLBOX среды MATLAB, программный пакет Statistica automated neural networks (SANN), аналитическая платформа Deductor Studio Academic 5.3).

В состав нейрообразовательного комплекса входят разработанные аппаратные модели стандартных и избирательных нейронов. Схематически структуры классического нейрона МакКаллока-Питтса (слева) и избирательного нейрона (справа) представлены на рис. 1.

На рис. 1 используются следующие обозначения: КС –

Рис. 1. Структуры нейрона МакКаллока-Питтса (слева) и избирательного нейрона (справа)

входные каналы связи; К – сформированные кластеры каналов связи; Σ – сумматор, F – пороговые нелинейные элементы. Треугольниками отмечены заблокированные каналы связи из числа входных, которые в данном примере не являются существенными для входных объектов перцептрона.

Избирательные нейроны и нейронные сети, построенные на их основе, имеют отличительные особенности. Избирательные нейроны имеют, иную парадигму обучения и функционирования, отличную от классических нейронов и нейросетей. Теория избирательных нейросетей разработана профессором Мазуровым М.Е. и защищена 4-мя патентами [8–11]. Избирательные нейронные сети свободны от многих недостатков классических нейронных сетей. На основе избирательных нейронов построены избирательные перцептроны, в которых реализован эффективный способ получения избирательности.

Как известно, в основе перцептрона (рис. 2) лежит математическая модель восприятия

информации мозгом, состоящая из сенсоров, ассоциативных и реагирующих элементов [12].

Рис. 2. Схема перцептрона [7]

В каждом избирательном нейроне создаются кластеры входных каналов связи, настроенные на соответствующие характеристические кодовые комбинации входных сигналов. Структура однослойного перцептрона Розенблатта на основе нейронов МакКаллока-Питтса, и избирательного перцептрона представлены на рис. 3 слева и справа соответственно.

Эффективность избирательного перцептрона для случая распознавания контурных объ-

Рис. 3. Структура однослойного перцептрона Розенблатта на основе нейронов МакКаллока-Питтса (слева) и избирательного перцептрона (справа)

Рис. 4а. Аппаратная модель нейрона МакКаллока-Питтса

Рис. 4б. Аппаратная модель избирательного нейрона

Рис. 4. Аппаратные реализации моделей нейронов

ектов следует из рассуждений и теоремы, приведенных в работах [13–17]. Принципиальное отличие стандартных нейронных сетей от избирательных нейронных сетей, в том, что обучение стандартных нейронных сетей производится за счет подбора весовых коэффициентов, а обучение избирательных нейронных сетей производится за счет избирательной кластеризации входных каналов связи [18].

На основе разработанных моделей решаются задачи построения и исследования перцептронов, а также нейросетей необходимой архитектуры. На рис. 4 представлены разработанные авторские аппаратные модели стандартных и избирательных нейронов. В аппаратной модели нейрона МакКаллока-Питтса нижний ряд кнопок управления черного цвета на рис. 4а служит для формирования бинарного входного сигнала. Девять рядов ползунковых переключателей с делениями на корпусе служат для формирования весовых коэффициентов. Ячейки бинарного входного сигнала пронумерованы цифрами от 1 до 9.

При нажатой кнопке ввода записывается «1», при не нажатой кнопке — «0». Необходимое значение весовых коэффициентов вводится путем изменения положения ползункового переключателя. Ряд

красных индикаторов служит для контроля введенного входного сигнала.

Избирательный нейрон на рис. 4б содержит два ряда кнопок управления. Первый ряд кнопок белого цвета служит для введения бинарных входных сигналов, также как в нейроне МакКаллока-Питтса. Верхний ряд индикаторов красного цвета служит для контроля введенного входного сигнала. Нижний ряд кнопок белого цвета служит для изби-

рательной настройки нейрона. Избирательная настройка осуществляется по кодовым комбинациям распознаваемых входных сигналов букв, цифр или абстрактных символов. Нижний ряд индикаторов красного цвета служит для контроля избирательной настройки нейрона.

Нейрообразовательный комплекс позволяет строить два вида схем перцептронов на основе нейронов МакКаллока-Питтса и избирательных нейронов. На рис. 5 представлены модели двух видов перцептронов: однослойный перцептрон с 2-мя нейронами МакКаллока-Питтса (2), однослойный перцептрон с 3-мя нейронами МакКаллока-Питтса (3).

Проводник зеленого цвета обеспечивает внешнее электропитание, проводник красного цвета обеспечивает передачу электропитания между нейронами. Конструкция моделей позволяет проводить исследование функционирования однослойного перцептрона с необходимым количеством нейронов.

Рис. 5. Структуры перцептронов на нейронах МакКаллока-Питтса: (2) — однослойный перцептрон на 2-х нейронах; (3) — на 3-х нейронах

Рис. 6. Структуры перцептронов на избирательных нейронах: (2) однослойный перцептрон на 2-х нейронах; (3) – на 3-х нейронах

Модели перцептронов на избирательных нейронах представлены на рис. 6: (2) однослойный перцептрон с 2-мя избирательными нейронами, (3) однослойный перцептрон с 3-мя избирательными нейронами. Представленные модели избирательных перцептронов позволяют обучаемым с достаточной степенью наглядности изучать процесс их функционирования и приобретать необходимые компетенции по решению задачи обучения перцептрона и выполнения процедуры распознавания объектов на основе поступающих на их входных сигналов.

Настройка нейронов на распознавание заданных входных объектов заключается в установке значений весовых коэффициентов этих объектов с помощью ползунковых переключателей. Значения весовых коэффициентов устанавливаются по шкалам, расположенным правее переключателей. Модели перцептронов позволяют демонстрировать решение задачи распознавания букв латинского алфавита.

Правильность распознавания подтверждается загоранием индикатора соответствующего нейрона. Коды избирательной настройки, например букв *L*, *T*, *X* задаются матрицей *A*:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Верхняя строка матрицы *A* – код буквы *L*, средняя строка – код буквы *T*, нижняя строка – код буквы *X*. В соответствии с указанными кодами настраиваются коды избирательной настройки каждого нейрона в

перцептроне.

Результаты распознавания отображаются путем загорания индикатора на соответствующем нейроне перцептрона. При распознавании буквы *L* загорается индикатор левого нейрона, который был настроен на соответствующую букву (см. рис. 7).

В отличие от классических (стандартных) нейросетей избирательные нейросети имеют преимущества, которые демонстрируют разработанные модели:

- отсутствие необходимости расчета весовых коэффициентов при обучении нейронной сети;

- однозначность результатов обучения (так при обучении стандартных нейронных сетей с нейронами МакКаллока-Питтса одна и та же процедура обучения дает различные результаты),

- получение достаточно точных результатов распознавания при неполной входной информации за счет подбора порога распознавания.

Представленные нейробразовательные комплексы позволяют решать следующие практические задачи:

1. Построение архитектуры нейронной сети, основанной на нейронах МакКаллока-Питтса, и ее обучение с использованием известных методов.

2. Построение стандартной однослойной нейронной сети, основанной на нейронах Мак-

Рис. 7. Результаты эксперимента по распознаванию букв для перцептронов на основе 3-х нейронов МакКаллока-Питтса

Каллока-Питтса, и ее обучение с использованием избирательного метода Монте-Карло.

3. Обучение избирательных нейронных сетей.

4. Решение задачи распознавания на основе избирательной нейронной сети.

5. Оценка точности распознавания изображений на основе стандартных и избирательных нейронных сетей.

В состав технологической платформы нейрообразовательной среды входят следующие программные средства:

1. Программное средство «Программа расчета весовых коэффициентов перцептрона с помощью избирательного метода Монте-Карло». Позволяет решать задачи обучения нейронных сетей однослойных и многослойных, использующих нейроны МакКаллока-Питтса. С вычислительной точки зрения задача сводится к нахождению матрицы весовых коэффициентов нейронной сети в ходе вычислительного эксперимента. На программное средство «Программа расчета весовых коэффициентов перцептрона с помощью избирательного метода Монте-Карло» [16], разработчиком которой является ООО «ИНТЕГРАЛ» (Генеральный директор Мазуров М.Е.), получено «Свидетельство о Государственной регистрации программы для ЭВМ».

2. Программный пакет Statistica automated neural networks (SANN), который позволяет реализовать [19,20]:

– *виды нейросетей*: Многослойный персептрон, Радиальная базисная функция, Вероятностная нейронная сеть, Обобщенная регрессионная нейронная сеть, Линейная сеть, Самоорганизующаяся карта Кохонена (СОКК),

– *алгоритмы обучения*: Обратное распространение ошибки, Быстрое распространение ошибки, Метод сопряженных градиентов, Алгоритм Левенберга-Маркара, Квази-ньютоновский алгоритм, Дель-

та-дельта с чертой, Алгоритм Кохонена, ОВК (обучающийся векторный квантователь), Псевдообратный метод (сингулярное разложение),

– *основные классы решаемых задач*: Регрессия, Классификация, Прогнозирование, Кластеризация, Снижение размерности.

– *особые возможности*: Мастер решений, Генетический алгоритм, Построение ансамблей нейросетей, Повторный выбор, Анализ чувствительности, Восстановление наилучшей сети, Построение матрицы потерь.

3. Программный пакет NEURAL NETWORK TOOLBOX среды MATLAB. Является инструментом разработки сложных нейросистем с прилагающимся к нему нейросетевым инструментарием. Пакет предоставляет удобную среду для синтеза разнообразных нейросетевых архитектур и методик с различными методами обработки данных (wavelet-анализ, статистика, финансовый анализ и т.д.).

4. Аналитическая платформа Deductor Studio Academic 5.3 является основой для создания законченных прикладных решений в области анализа данных. Реализованные в Deductor технологии позволяют на базе единой архитектуры пройти все этапы построе-

ния аналитической системы от создания хранилища данных до автоматического подбора моделей и визуализации полученных результатов [20,21]. Платформа включает следующие компоненты (рис. 8):

– Deductor Warehouse – многомерное хранилище данных, аккумулирующее всю необходимую для анализа предметной области информацию.

– Deductor Studio – программа, реализующая функции импорта, обработки, визуализации и экспорта данных.

– Deductor Viewer – программа, ориентированная на конечного пользователя и предназначенная для просмотра подготовленных при помощи Deductor Studio отчетов.

Мастер обработки Аналитической платформы Deductor Studio Academic 5.3 позволяет сконструировать нейронную сеть с заданной структурой, определить ее параметры и обучить с помощью одного из доступных в системе алгоритмов обучения. В результате получим эмулятор нейронной сети, который используется для решения задач прогнозирования, классификации, поиска скрытых закономерностей, сжатия данных и многих других приложений.

Настройка и обучение нейронной сети включает следующие шаги:

Рис. 8. Архитектура аналитической платформы Deductor Studio Academic 5.3 [20]

1. Настройка назначений полей.
2. Настройка нормализации полей.
3. Настройка обучающей выборки.
4. Настройка структуры нейронной сети.
5. Выбор алгоритма и настройка параметров обучения.
6. Настройка условий остановки обучения.
7. Запуск процесса обучения.
8. Выбор способа отображения данных.

С использованием разработанной технологической платформы в дополнение к вышеперечисленным практическим задачам выполняются следующие авторские лабораторные работы:

1. Система классификации результатов анализа сетевого трафика на основе искусственной нейронной сети (пакет NEURAL NETWORK TOOLBOX среды MATLAB).
2. Применение программного пакета Statistica automated neural networks (SANN) для решения задач классификации сетевого трафика с использованием ансамбля нейросетей.
3. Нейросетевое прогнозирование инцидентов информационной безопасности (Аналитическая платформа Deductor Studio Academic 5.3).

Отличительной особенностью разработанной нейрообразовательной среды является то, что она обладает гибкостью и адаптивностью к реализации заданных индивидуальных траекторий обучения специалистов и обеспечивает получение обучаемыми компетенций, необходимых при внедрении сквозных цифровых технологий.

Для усвоения теоретического материала и приобретения практических навыков разработано 5 авторских практических

задач и 3 авторские лабораторные работы, входящие в состав технологической платформы. Практические задачи и лабораторные работы апробированы в учебном процессе и обеспечивают формирование необходимых компетенций в области нейротехнологий, ознакомление обучаемых с принципами построения и функционирования стандартных и избирательных нейросетей, а также различными инструментальными средствами, иллюстрирующими возможности нейросетевых технологий.

Разработано методическое руководство для индивидуального обучения основам нейротехнологии на основе стандартных и избирательных нейронных сетей с использованием нейрообразовательных комплексов. Методическое руководство включает основы математической теории стандартных и избирательных нейронных сетей, описание процесса обучения стандартных нейронных сетей, построенных на основе нейронов МакКаллока-Питтса, а также избирательных нейронных сетей, построенных на основе избирательных нейронов.

Даны рекомендации для практической реализации процесса обучения стандартных нейронных сетей. Теоретический и практический материал изложен в форме, наиболее доступной для освоения обучаемыми. Предложен авторский подход к решению задачи обучения стандартной однослойной нейронной сети, основанной на нейронах МакКаллока-Питтса, с использованием избирательного метода Монте-Карло. Разработанный метод позволяет находить большое количество наборов весовых коэффициентов и выделять те из них, которые удовлетворяют заданным условиям оптимальности.

Заключение

Разработанная технологическая платформа нейрообразовательной среды обеспечивает решение актуальной задачи — совершенствования методов и средств обучения основам нейронных сетей и нейротехнологиям, а также приобретение специалистами необходимых компетенций для внедрения сквозных цифровых технологий в рамках реализации программы цифровой экономики. Ядром разработанной технологической платформы является нейрообразовательный комплекс, в состав которого входят аппаратные модели стандартных и избирательных нейронов. Разработанные модели обеспечивают наглядное представление процессов обучения и функционирования нейронных сетей. Предложен новый класс нейронов и нейронных сетей на их основе, получивших название избирательных и приближенных по своим свойствам к биологическим. Новизна разработки подтверждена 4-мя патентами на изобретение. Показано преимущество избирательных нейросетей перед классическими. Для обучения стандартным и избирательным нейротехнологиям разработано программное средство, на которое получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа расчета весовых коэффициентов перцептрона с помощью избирательного метода Монте-Карло». Для усвоения теоретического материала и приобретения практических навыков разработано 5 авторских практических задач и 3 авторские лабораторные работы, входящие в состав технологической платформы.

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://base.garant.ru/71734878/> (Дата обращения: 14.10.2020)
2. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утверждена протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/> (Дата обращения: 14.10.2020)
3. Сайт Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций. Российской Федерации. Сквозные цифровые технологии [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/878/> (Дата обращения: 14.10.2020)
4. Публичный аналитический доклад по направлению «нейротехнологии» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://reestr.extech.ru/docs/analytic/reports/neuroscience.pdf> (Дата обращения: 14.10.2020)
5. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «нейротехнологии и искусственный интеллект» 10 октября 2019 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6658/>. (Дата обращения: 14.10.2020).
6. План мероприятий «дорожная карта» «Нейронет» Национальной технологической инициативы [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://nti2035.ru/markets/neuronet> (Дата обращения: 14.10.2020)
7. Приказ Минэкономразвития от 24.01.2020г. №41 «Об утверждении методик расчета показателей проекта «Кадры для цифровой экономики» для национальной программы «Цифровая экономика» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://rulings.ru/acts/Prikaz-Minekonomrazvitiya-Rossii-ot-24.01.2020-N-41/> (Дата обращения: 14.10.2020)
8. Мазуров М.Е. Импульсный нейрон, близкий к реальному. Патент на изобретение № 2598298. 09.02.2015.

9. Мазуров М.Е. Нейрон, моделирующий свойства реального нейрона. Патент на изобретение № 2597495. 07.11.2014.

10. Мазуров М.Е. Однослойный перцептрон на основе избирательных нейронов. Патент на изобретение № 2597497. 13.01.2015.

11. Мазуров М.Е. Однослойный перцептрон, моделирующий свойства реального перцептрона. Патент на изобретение № 2597496. 24.02.2015.

12. Перцептроны [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://neuralnet.info/chapter/перцептроны/> (Дата обращения: 14.10.2020)

13. Novikoff A.B. On convergence proofs on perceptrons // Symposium on the Mathematical Theory of Automata. Polytechnic Institute of Brooklyn. 1962. № 12. С. 615–622.

14. Мазуров М.Е. Точность распознавания изображений в избирательных нейронных сетях // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2020.

15. Мазуров М.Е. Нелинейная динамика и синхронизация нейронных ансамблей при формировании внимания // Известия РАН. Серия физическая. 2020. Т. 84. № 3. С. 451–456.

16. Мазуров М.Е. Свидетельство о Государственной регистрации «Программа расчета весовых коэффициентов перцептрона с помощью избирательного метода Монте-Карло». №2019617233 от 04.06.2019.

17. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории. М.: Горячая линия – телеком, 2010. 496 с.

18. Мазуров М.Е. Обучение избирательных бинарных нейронных сетей без математики и без учителя с использованием самоорганизации. XVIII Всероссийская научная конференция «Нейрокомпьютеры и их применение». 2020. С. 27–28.

19. Кириченко А.А. «Нейропакеты – современный интеллектуальный инструмент исследователя». Сетевое электронное издание учебного пособия. 2016. 297с. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://publications.hse.ru/books/91277065> (Дата обращения: 14.10.2020)

20. Deductor «О системе» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://basegroup.ru/deductor/description> (Дата обращения: 14.10.2020)

21. Прокопенко Ю.Н. Системы поддержки принятия решений. Нижний Новгород: ННГА-СУ, 2017. 188 с.

References

1. Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 28.07.2017 N 1632-r ob utverzhdenii programmy «Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii» = Order of the Government of the Russian Federation of July 28, 2017 N 1632-r on the approval of the program «Digital Economy of the Russian Federation» [Internet]. Available from: <http://base.garant.ru/71734878/> (cited 14.10.2020). (In Russ.)

2. Natsional'naya programma «Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii», utverzhdena protokolom zasedaniya prezidiuma Soveta pri Prezidente Rossiyskoy Federatsii po strategicheskomu razvitiyu i natsional'nyy proyektam ot 4 iyunya 2019 g. № 7 = The national program «Digital Economy of the Russian Federation», approved by the minutes of the meeting of the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation for Strategic

Development and National Projects of June 4, 2019 No. 7. [Internet]. Available from: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/> (cited 14.10.2020). (In Russ.)

3. Sayt Ministerstva tsifrovogo razvitiya, svyazi i massovykh kommunikatsiy. Rossiyskoy Federatsii. Skvoznyye tsifrovyye tekhnologii = Website of the Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media. Russian Federation. End-to-end digital technologies [Internet]. Available from: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/878/> (cited 14.10.2020). (In Russ.)

4. Publichnyy analiticheskiy doklad po napravleniyu «neyrotekhnologii» = Public analytical report in the direction of «neurotechnology» [Internet]. Available from: <https://reestr.extech.ru/docs/analytic/reports/neuroscience.pdf> (cited 14.10.2020). (In Russ.)

5. Dorozhnaya karta razvitiya «skvoznoy» tsifrovoy tekhnologii «neyrotekhnologii i iskusstvennyy intellekt» 10 oktyabrya 2019 = Roadmap for the development of «end-to-end» digital technology «neurotechnology and artificial intelligence» October 10, 2019 [Internet]. Available from: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6658/>. (cited 14.10.2020). (In Russ.)

6. Plan meropriyatiy «dorozhnaya karta» «Neyronet» Natsional'noy tekhnologicheskoy initsiativy = Action plan «road map» «Neuronet» of the National Technology Initiative [Internet]. Available from: <https://nti2035.ru/markets/neuronet> (cited 14.10.2020). (In Russ.)

7. Prikaz Minekonomrazvitiya ot 24.01.2020g. № 41 «Ob utverzhdenii metodik rascheta pokazateley proyekta «Kadry dlya tsifrovoy ekonomiki» dlya natsional'noy programmy «Tsifrovaya ekonomika» = Order of the Ministry of Economic Development of 01/24/2020. No. 41 «On the approval of methods for calculating the indicators of the project» Personnel for the digital economy «for the national program» Digital economy «[Internet]. Available from: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minekonomrazvitiya-Rossii-ot-24.01.2020-N-41/> (cited 14.10.2020). (In Russ.)

8. Mazurov M. Ye. Impul'snyy neyron, blizkiy k real'nomu. Patent na izobreteniyе № 2598298. 09.02.2015 = Impulse neuron, close to real. Patent for invention No. 2598298. 09.02.2015. (In Russ.)

9. Mazurov M. Ye. Neyron, modeliruyushchiy svoystva real'nogo neyrona. Patent na izobreteniyе № 2597495. 07.11.2014 = Neuron modeling the properties of a real neuron. Patent for invention No. 2597495. 07.11.2014. (In Russ.)

10. Mazurov M. Ye. Odnosloynnyy pertseptron na osnove izbiratel'nykh neyronov. Patent na izobreteniyе № 2597497. 13.01.2015 = Single-layer perceptron based on selective neurons. Patent for invention No. 2597497. 13.01.2015. (In Russ.)

11. Mazurov M. Ye. Odnosloynnyy pertseptron, modeliruyushchiy svoystva real'nogo pertseptrona. Patent na izobreteniyе № 2597496. 24.02.2015 = Single-layer perceptron, modeling the properties of a real perceptron. Patent for invention No. 2597496. 24.02.2015. (In Russ.)

12. Pertseptrony = Perceptrons [Internet]. Available from: <https://neuralnet.info/chapter/perseptrony/> (cited 14.10.2020). (In Russ.)

13. Novikoff A. B. On convergence proofs on perceptrons. Symposium on the Mathematical Theory of Automata. Polytechnic Institute of Brooklyn. 1962. 12: 615-622.

14. Mazurov M. Ye. Accuracy of image recognition in selective neural networks. Neyrokomp'yutery: razrabotka, primeneniye = Neurocomputers: development, application. 2020. (In Russ.)

15. Mazurov M. Ye. Nonlinear dynamics and synchronization of neural ensembles in the formation of attention. Izvestiya RAN. Seriya fizicheskaya = Izvestiya RAN. Physical series. 2020; 84; 3: 451–456. (In Russ.)

16. Mazurov M. Ye. Svidetel'stvo o Gosudarstvennoy registratsii «Programma rascheta vesovykh koeffitsiyentov pertseptrona s pomoshch'yu izbiratel'nogo metoda Monte-Karlo». № 2019617233. 04.06.2019 = Certificate of State Registration «Program for calculating the weight coefficients of the perceptron using the selective Monte Carlo method.» No.2019617233 dated 06/04/2019. (In Russ.)

17. Galushkin A. I. Neyronnyye seti: osnovy teorii = Neural Networks: Theory Foundations. Moscow: Hot line – telecom; 2010. 496 p. (In Russ.)

18. Mazurov M. Ye. Teaching selective binary neural networks without mathematics and without a teacher using self-organization. XVIII Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya «Neyrokomp'yutery i ikh primeneniye» = XVIII All-Russian scientific conference «Neurocomputers and their application». 2020: 27–28. (In Russ.)

19. Kirichenko A.A. «Neyropakety – sovremennyy intellektual'nyy instrument issledovatelya». Setevoye elektronnoye izdaniye uchebnogo posobiya «Neuropackages are a modern intellectual tool for a researcher.» Online electronic publication of the textbook. 2016. 297p. [Internet]. Available from: <https://publications.hse.ru/books/91277065> (cited 14.10.2020). (In Russ.)

20. Deductor «O sisteme» = Deductor «About the system» [Internet]. Available from: <https://basegroup.ru/deductor/description> (cited 14.10.2020). (In Russ.)

21. Prokopenko YU.N. Sistemy podderzhki prinyatiya resheniy = Decision support systems. Nizhny Novgorod: NNGASU; 2017. 188 p. (In Russ.)

Сведения об авторах

Михаил Ефимович Мазуров

Д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры Прикладной информатики и информационной безопасности ИЦЭ и ИТ, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия
Эл. почта: Mazurov37@mail.ru

Андрей Александрович Микрюков

К.т.н., доцент, доцент кафедры Прикладной информатики и информационной безопасности ИЦЭ и ИТ
Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия
Эл. почта: mikrukov.aa@rea.ru

Валерий Александрович Титов

Д.э.н., профессор, директор ИЦЭ и ИТ
Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,
Москва, Россия
Эл. почта: Titov.VA@rea.ru

Игорь Григорьевич Федоров

Д.э.н., профессор кафедры Прикладной информатики и информационной безопасности ИЦЭ и ИТ, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия
Эл. почта: Fedorov.IG@rea.ru

Information about the authors

Mikhail E. Mazurov

Dr. Sci. (Physico-Mathematical), Associate Professor, Professor of the Applied Informatics and Information Security Department of the Plekhanov Russian University, Moscow, Russia
E-mail: Mazurov37@mail.ru

Andrey A. Mikryukov

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics, Computer Science and Information Security
Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia
E-mail: Mikrukov.aa@rea.ru

Valery A. Titov

Dr. Sci. (Economics), Professor, Director of the Digital Economy and Information Technologies Institute of the Plekhanov Russian University, Moscow, Russia
E-mail: Titov.VA@rea.ru

Igor Grigorievich Fedorov

Dr. Sci. (Economics), Professor of the Applied Informatics and Information Security Department of the Plekhanov Russian University, Moscow, Russia
E-mail: Fedorov.IG@rea.ru